

Anssi Mustonen

Selvitys itseohjautuvan autokonseptin tulevaisuudesta Suomessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotalous

Insinöörityö

19.9.2017

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Anssi Mustonen Selvitys itseohjautuvan autokonseptin tulevaisuudesta Suomessa 51 sivua 19.9.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tuotantotalous
Suuntautumisvaihtoehto	ICT-Tuotantotalous
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Thomas Rohweder
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää itseohjautuvan autokonseptin tulevaisuutta Suomessa. Tätä tavoitetta sovellettiin työn edetessä entistä globaalimpaan näkökulmaan ja kohdepopulaatioksi valittiin kehittyneet markkinat, sillä lähdetiedon määrä Suomessa ja Pohjoismaissa on välttämä ja näin työhön saatiin monipuolista ja syvällistä analyysiä. Näin ollen kohdepopulaation mukaanluetaan Pohjois-Amerikka, Eurooppa ja muita kehittyneitä valtioita kuten Japani ja Singapore. Täten tarkastelun ulkopuolelle jäivät merkittäviä talouksia kuten BRIC-maat (Brasilia, Venäjä, Intia & Kiina).</p> <p>Laajapohjaisen analyysin avulla tarkasteltiin itseohjautuvien autoteknologioiden nykytilaa ja tulevaisuuden näkymiä. Tulevaisuuden ennustamisessa hyödynnettiin historiallista tietoa autoalan innovaatioiden diffuusiosta aikajana-analyysin avulla. Innovaation diffuusiota tarkasteltiin järjestelmällisesti Rogersin innovaatiotutkimuksia hyödyntäen.</p> <p>Selvityksen lähteinä käytettiin runsaasti kansainvälistä kirjallisuutta ja tieteellisiä artikkeleja. Ajankohtaiset lehtiartikkelit auto- ja teknologia-alan saavutuksista ja tulevaisuuden suunnitelmista itseohjautuvien autojen parissa toimivat lähteinä nykyisen kaupallisen tilanteen selvittämisessä. Kaupallisten motiivien läsnäolo erilaisissa alan toimijoiden julkilausmissa on otettu huomioon pyrkien mahdollisimman objektiiviseen teknologian valmiusasteen arviointiin.</p> <p>Lopputuloksena saatiin aikaan ennusteita itseohjautuvien autojen diffuusionopeudesta ja siitä, milloin ne ottavat tieliikenteen täysin haltuun syrjäyttäen tavalliset autot. Lukuisat erisidosryhmät tulevat vaikuttamaan kehitykseen ja yhteiskunta tulee muuttumaan pysyvästi kohti korkeampaa automaatiota. Tämän vuoksi tutkimuksen päätteeksi pohdittiin, miten erisidosryhmät voisivat valmistautua tähän merkittävään muutokseen.</p>	
Avainsanat	Itseohjautuvat autot, innovaatioiden diffuusio, innovaatiojärjestelmä, liikennealan muutos

Author(s) Title	Anssi Mustonen Report of the future of self-driving cars in Finland
Number of Pages Date	51 pages 19 September 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial Management
Specialisation option	International ICT-Business
Instructor(s)	Thomas Rohweder, Principal lecturer
<p>The objective of this thesis was to gain insight into the future of autonomous cars in Finland. This objective expanded during the research into a more global perspective and the target population chosen for the thesis was developed markets. The information and research available about autonomous cars in Finland and the Nordics was unsatisfactory and the widening of the scope enabled a more detailed and more diverse analysis. Therefore the target population includes North America, Europe and other developed countries such as Japan and Singapore. The scope of the research leaves out major countries such as the BRIC-countries (Brazil, Russia, India China).</p> <p>Autonomous car technologies' current state and future prospects were analyzed from diverse perspectives. In forecasting the future, historical data of the diffusion speed of the industry's innovations was used to form timeline forecasts. The innovation of diffusions was examined with the structure provided by Rogers' innovation research.</p> <p>Many international sources and scientific articles were used as sources during the research. Recent magazine articles of car and technology industries' accomplishments and future plans regarding autonomous cars provided up-to-date data about current market conditions. Market-driven motives in the industry insiders comments was taken into account and the author pursued to have the most objective perspective possible in evaluating the current state of the technology.</p> <p>Various projections and forecasts about the diffusion speed of autonomous cars and the time, when they take over the whole transport system from regular cars were the final result of the research. Many stakeholders will affect this development and the society will change forever into one with a higher rate of automation. Therefore, the ways in which stakeholders could prepare themselves for this major disruption were evaluated in the last chapter of the thesis.</p>	
Keywords	Autonomous cars, diffusion of innovations, innovation system, transformation of transport industry

Sisällys

Lyhenteet ja termit

1	Johdanto	1
1.1	Itseohjautuvien autojen taustaa ja automatisoidun liikennejärjestelmän vaikutuksia	1
1.2	Automaation tasot ja määritelmät	2
1.3	Työn tavoite ja rajaus	3
2	Tutkimuksen toteutusprosessi	4
2.1	Tiedon keruun ja analyysin suunniteltu toteutus	4
2.2	Työn rakenne	5
3	Uusien teknologioiden kypsyyden ja kaupallisen etenemisen arvioinnin työkaluja	6
3.1	Innovaatiojärjestelmä	7
3.2	Innovaatioiden diffuusio	9
3.3	Aikajana-analyysiin pohjautuva ennustaminen	13
4	Itseohjautuvan autokonseptin kypsyysasteen arviointi	14
4.1	Itseohjautuvan autokonseptin innovaatiojärjestelmä	15
4.2	Itseohjautuvien autojen diffuusio markkinoille	18
4.3	Itseohjautuvan auton markkinoille tulo aikajana-analyysiin perusteella	25
4.4	Yhteenveto	27
5	Muita itseohjautuvan autokonseptin kaupalliseen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä	29
5.1	Teknologinen valmius	29
5.2	Liikennejärjestelmän ja infrastruktuurin valmius	31
5.3	Lainsäädäntö ja valtiotason päätökset	33
5.4	Kuluttajien mielipiteet, hyväksyntä ja aikomus käyttää itseohjautuvia autoja	35
6	Johtopäätökset	40
6.1	Yhteenveto	40
6.2	Miten varautua itseohjautuvien autojen tulemiseen	41
6.3	Oma arvio tutkimuksen onnistumisesta	44
	Lähteet	45

Lyhenteet ja termit

SAE	Society of Automotive Engineers
V2V	Kulkuneuvojen välinen kommunikaatio (Vehicle-to-vehicle)
V2I	Kulkuneuvojen ja infrastruktuurin välinen kommunikaatio (Vehicle-to-infrastructure)
LIDAR	Light detection and ranging = etäisyyksien mittaamisjärjestelmä (laser)
FMEA	Failure mode and effects analysis = Järjestelmällinen virheiden ja vaikutusten arviointimenetelmä
DFMA	Design for manufacture and assembly = tuotesuunnittelu valmistamista&kokoamista varten
ADAS	Advanced driver assistance system = edistynyt kuljettajaa avustava järjestelmä
PPP	Public-private partnership = Julkisen ja yksityisen/yksityisten toimijoiden yhteistyö

1 Johdanto

1.1 Itseohjautuvien autojen taustaa ja automatisoidun liikennejärjestelmän vaikutuksia

Yleinen liikennejärjestelmä on matkalla kohti sen tähän asti suurinta murrosta sitten auton keksimisen, kun liikenteen automaatio tulee hiljalleen lisääntymään ja lopulta valtaamaan tiet kokonaan itseohjautuvilla kulkuneuvoilla (suomalaisessa kirjallisuudessa käytetään enemmän termiä robottiauto). Joitakin elementtejä automaatioteknologiasta on saatavilla moderneissa autoissa nykypäivänä, kuten parkkeerausavustus, vakionopeudensäädin, kaistanvaihto ja automaattinen jarrutus tai kiihdytys.

Liikennejärjestelmän suunnittelijat, tutkijat ja lainsäätäjät ovat osoittaneet suurta kiinnostusta selvittää, kuinka markkinat itseohjautuville autoille kehittyvät. Liikenteen automaatio tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia yleiseen liikenteeseen ja tavarankuljetukseen muun muassa onnettomuuksien vähentämisen, sulavamman liikkuvuuden ja kustannustehokkaamman ajamisen kautta. Inhimillisten virheiden aiheuttamien liikenneonnettomuuksien välttäminen jo yksinään olisi merkittävä parannus nykypäivään nähden. Siirtyminen itseohjautuviin autoihin on hyödyksi yhteiskunnalle Van der Bergin ja Verhoefin (2016) mukaan, koska itseohjautuvat autot voivat liikkua nykyistä nopeammin ja tiheämmin, jolloin nykyteiden kapasiteetti käytännössä kasvaa ja lisäksi kuljettajalta vapautuu aikaa, jolloin hänen aikaansa menee vähemmän 'hukkaan' siirtymäaikoina. Osa vaikutuksista on yleismaailmallisia, mutta osa riippuu kunkin maan liikenteelle ja tieverkolle tyypillisistä piirteistä ja olosuhteista, kuten säästä, tieinfrastruktuurista, ajoneuvokannasta ja liikennemäärästä. Nämä ja monet muut asiat vaikuttavat siihen, miten automaatio hyväksytään sekä lainsäädännön, että käyttäjien parissa ja miten se yleistyy kussakin maassa.

Isot autonvalmistajamerkit kuten Tesla ja Ford kehittävät ja testaavat parhaillaan omia itseohjautuvia autojaan. Teknologia on jo kehittynyt riittävän pitkälle tavallisen liikenteen seassa testaamiseen ja Teslan toimitusjohtaja Elon Musk (Stumpf, 2017) on ilmoittanut, että vuonna 2017 testataan täysin itseohjautuvaa automatkaa Los Angelesista New Yorkiin. Kyytipalveluyritys Uber (Bergen & Newcomer, 2017) on aloittanut kokeilut itseohjautuvien autojen käyttämisessä ihmisten kyyditsemiseen Arizonassa, tosin kokeilu keskeytettiin myöhemmin yhden onnettomuuden vuoksi. Uber (Goddin, 2015) on vihjannut korvaavansa koko autolaivueensa itseohjautuvilla autoilla vuoteen 2030 mennessä.

Tässä työssä selvitetään itseohjautuvien autojen tulemistä ja diffuusiota yleiseen liikennejärjestelmään Suomessa ja maailmalla. Tutkimuksen päätavoitteena on arvioida tieliikenteen automatisoitumisen nopeutta ja aikajanaa, sekä pohtia miten siihen voidaan ennalta reagoida ja varautua. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin mm. liikenteen automatisoimisen edut ja haitat tiettyjen sidosryhmien kannalta sekä kysymykset koskien oikeudellista vastuuta, korvausvastuita ja etiikkaa.

1.2 Automaation tasot ja määritelmät

SAE International on määritellyt autonomisten autojen luokitteluun teknologiatasot, jotka perustuvat kuuteen eri tasoon 0-5. Automaation taso nousee sitä mukaa, mitä enemmän ajo- ja hallinta-tehtäviä siirtyy ihmiseltä järjestelmälle. Nykyhetkellä on jo markkinoilla ja liikenteessä tason kolme automaatiota, eikä tasolle kolme siirtyminen edellytä muutoksia infrastruktuurissa tai lainsäädännössä. Automaation eteneminen markkinoilla tasoissa ylöspäin tulee olemaan hidas ja pikkuhiljaa etenevä prosessi, joten jonkun aikaa kaikki tasot tulevat toimimaan samanaikaisesti keskenään. Selvityksen kannalta keskeisiä ovat tasot 4 ja 5, jossa auto hoitaa melkein kaikki ajotilanteet tai kuljettajaa ei tarvita lainkaan. Tason 5 täysin automaattinen auto kykenee ajamaan paikasta A paikkaan B, esimerkiksi suorittamaan taksikuljetuksia itsenäisesti ilman kuljettajaa.

Taso	Nimi	Määritelmä	Ohjaus, kiihdyttäminen, jarrutus	Ympäristön monitorointi	Dynaamisen ajamisen varasuorittaja	Automaation kattavuus
Ihminen monitoroi ajoympäristöä			Ihminen	Ihminen	Ihminen	
0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuetaan varoituksilla tai ajamiseen puuttavilla järjestelmillä.				–
1	Kuljettajan tuki	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
2	Osittainen automaatio	Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä			Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	
3	Ehdollinen automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrolloinnin. Ihminen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää.				Joitakin ajotilanteita
4	Korkea automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota autoa hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa haltuunsa, järjestelmä ohjaa auton hallinusti tien sivuun ja pysäyttää sen.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Suurin osa ajotilanteista
5	Täysi automaatio	Kaiken kattava automaattiajojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Kaikki ajotilanteet

Kuva 1. SAE:n määritelmä automaation eri tasoille. (Innanmaa et al. 2015)

1.3 Työn tavoite ja rajaus

Tässä työssä tutustutaan itseohjautuvan autokonseptin tasoihin 3-5 SAE:n luokittelu mukaisesti ja pyritään uuden teknologian leviämisen arviointimenetelmillä ennustamaan millaisella nopeudella itseohjautuvat autot saavuttavat markkinasaturaatiota Suomen ja kehittyneiden talouksien automarkkinoilla. Suomen markkina on tutkimustavoitteen kannalta tärkein kohdemarkkina, mutta kokonais kuvan luomiseksi on nähty tarkoituksenmukaiseksi käsitellä kehittyneitä markkinoita kokonaisuutena, sillä kehittyneiden maiden markkinat ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa. Globaalissa maailmantaloudessa eri maiden voidaan olettaa seuraavan alan pioneerimaita keskipitkällä aikavälillä. Aikajana-analyysin jälkeen annetaan suosituksia, miten alan toimijoiden ja sidosryhmien tulisi varautua itseohjautuvien autojen tulemiseen.

Oletettavasti alan toimijoiden kommentit ja haastattelut saavat vaikutteita yhtiöiden liiketaloudellisista intresseistä ja näin ollen julkisien lausuntojen avulla voidaan pyrkiä edistämään oman yhtiön markkinapositiona. Tästä johtuen artikkeleista lainattuihin kommentteihin tulee lukijan suhtautua varauksella ottaen huomioon se, että yhtiöiden työntekijät eivät välttämättä saa tuoda esiin esimerkiksi teknologian käyttöönoton ongelmia sillä tämä voisi johtaa haitallisiin vaikutuksiin yhtiön imagon ja/tai markkinaposition kannalta.

2 Tutkimuksen toteutusprosessi

Tässä opinnäytetyössä arvioidaan itseohjautuvien autojen markkinakypsyttä uuden teknologian leviämisen ja käyttöönoton ennustamisen työkaluilla ja erilaisten autoteknologioiden elinkaaren ja kypsyystasojen vertaamisella. Tutkimusprosessi on jaettu kuuteen eri vaiheeseen, jotka esitellään kappaleeseen 2.1 sijoitetussa kuvassa 2.

Tutkimus toteutettiin ns. desktop-study:na, jossa tieteellistä tietoa etsittiin kirjallisuudesta ja tieteellisistä artikkeleista. Markkinatieto saatiin erilaisista kaupallisista kansainvälisistä julkaisuista kuten esimerkiksi Bloomberg ja the Economist. Käytännössä aluksi etsittiin suuri määrä aiheen kannalta relevantteja artikkeleja, joita alettiin systemaattisesti käymään läpi pohtien, kuinka tätä informaatiota voitaisiin itse tutkimuksessa hyödyntää.

Tiedonhakuprosessin jälkeen aloitettiin systemaattinen analyysi, jossa eri lähteitä verrattiin keskenään ja pyrittiin saamaan aikaan eri lähteiden välistä dialogia, jolla luoda lisäarvoa opinnäytetyölle, jotta vältettäisiin vain jo tutkitun tiedon toistaminen erilaisessa muodossa. Erilaisista ja laajoista näkökulmista tarkastellen tavoitteena oli luoda yhtenäinen synteesi, jossa tutkittu tieto ja markkinatoimijoiden saavutukset ja tavoitteet loisivat mahdollisimman realistisen kuvan itseohjautuvien autojen tulevaisuudesta. Tutkimuksen lopputulokseen suositellaan suhtautumaan varauksella, sillä tulevaisuuden ennustaminen edustaa erittäin virhealtista ja herkkää tieteen osa-aluetta.

2.1 Tiedon keruun ja analyysin suunniteltu toteutus

Opinnäytetyössä käytetty tieto kerätään muista itseohjautuvaan autokonseptiin liittyvistä tutkimuksista, artikkeleista, asiantuntijoiden arvioista tieliikenteen automaation etenemisestä ja vaikutuksista. Uuden teknologian etenemisen arvioinnissa on käytetty innovaatioiden leviämistä käsittelevää kirjallisuutta. Tutkimus toteutetaan käytännössä kuvan 2 mallin mukaisesti siirtyen tavoitteiden asettamisen jälkeen teorian tutkimiseen ja markkinatilanteen arvioimiseen. Lopuksi analysoidaan ja arvioidaan itseohjautuvien autojen leviämisen vaikutuksia markkinatoimijoiden sekä sidosryhmien osalta. Viimeisenä tehdään johtopäätöksiä ja suosituksia edellä toteutetun analyysin tuoman informaation avulla.

Tutkimuksen eteneminen



Kuva 2. Tutkimuksen toteutusprosessi.

2.2 Työn rakenne

Itseohjautuvien autojen diffuusiota ja tulevaisuuden näkymiä on tarkoitus tarkastella tämän työn avulla systemaattisesti. Mikäli tutkimus tiivistetään kolmeen oleelliseen ydinasiaan, ovat ne innovaatiojärjestelmä, innovaatioiden diffuusio ja aikajana-analyysiin perustuva ennustaminen. Työn rakenne etenee seuraavalla tavalla. Aluksi pyritään luomaan yleinen käsitekehys siitä, minkälaisen rakenteen puitteissa innovaatiot kehittyvät ja miten. Tämän jälkeen tarkastellaan innovaatioiden leviämistä erilaisten diffuusiomallien avulla. Viimeisenä luodaan katsaus aikajana-analyysiin perustuvaan ennustamiseen.

Kappale 3 käsittelee yleisellä tasolla tutkimuksen kolme ydinasiata. Ensin innovaatiojärjestelmä, sen rakenne ja funktiot kappaleessa 3.1. Kappale 3.2 käsittelee innovaatioiden diffuusiota eli leviämistä kohdepopulaation keskuudessa. Kolmantena kappale 3.3 luo

katsauksen aikana-analyysiin perustuvaan ennustamiseen. Näitä teorioita ja malleja hyödynnetään työn oleellisimmissa kappaleissa 4 ja 5.

Tämän työn kappaleessa 4 tarkastellaan innovaatiojärjestelmän struktuuria, -järjestelmän funktioita ja koko teollisuuden alan toimijoita sekä näiden vuorovaikutussuhteita. Kun järjestelmä ja sen toiminta on kuvattu, voidaan muodostaa käsitys siitä, kuinka itseohjautuvien autojen kehitys ja diffuusio tulevaisuudessa voisi edetä ja mitkä tekijät tähän vaikuttavat. Kappale 5 käsittelee teknologisen valmiuden lisäksi merkittävimpiä teollisuuden ulkopuolisia tekijöitä, kuten yleistä mielipidettä, tieliikennejärjestelmää ja -infrastruktuuria sekä poliittista päätöksentekoa. Nämä kehittyvät teknologioiden mukana ajan kuluessa vuorovaikuttaen toisiensa kanssa ja ne ovat oleellisia itseohjautuvien autojen diffuusionopeuteen vaikuttavia tekijöitä.

Työn viimeinen kappale 6 on kokonaisuuden yhteenveto, jossa tehdään johtopäätöksiä kappaleessa 6.1 aikaisemman analyysin perusteella itseohjautuvien autojen tulevaisuudesta Suomessa ja globaalissa toimintaympäristössä. Lisäksi kappaleessa 6.2 annetaan suosituksia siitä, kuinka eri sidosryhmät voivat valmistautua itseohjautuvien autojen yleistymiseen. Viimeisenä kappaleessa 6.3 arvioidaan tutkimuksen onnistumista allekirjoittaneen toimesta.

3 Uusien teknologioiden kypsyiden ja kaupallisen etenemisen arvioinnin työkaluja

Tämä kappale kuvaa työkaluja, joilla voidaan arvioida uusien teknologioiden ja innovaatioiden kypsyyttä ja etenemistä kohdepopulaation keskuudessa. Hyödyntämällä eri tutkimuksissa rakennettuja innovaatiojärjestelmän ja innovaatioiden diffuusion malleja pyritään luomaan käsitekehystä, jonka avulla tarkastella itseohjautuvien autojen kypsyysastetta ja tulevaisuuden näkymiä.

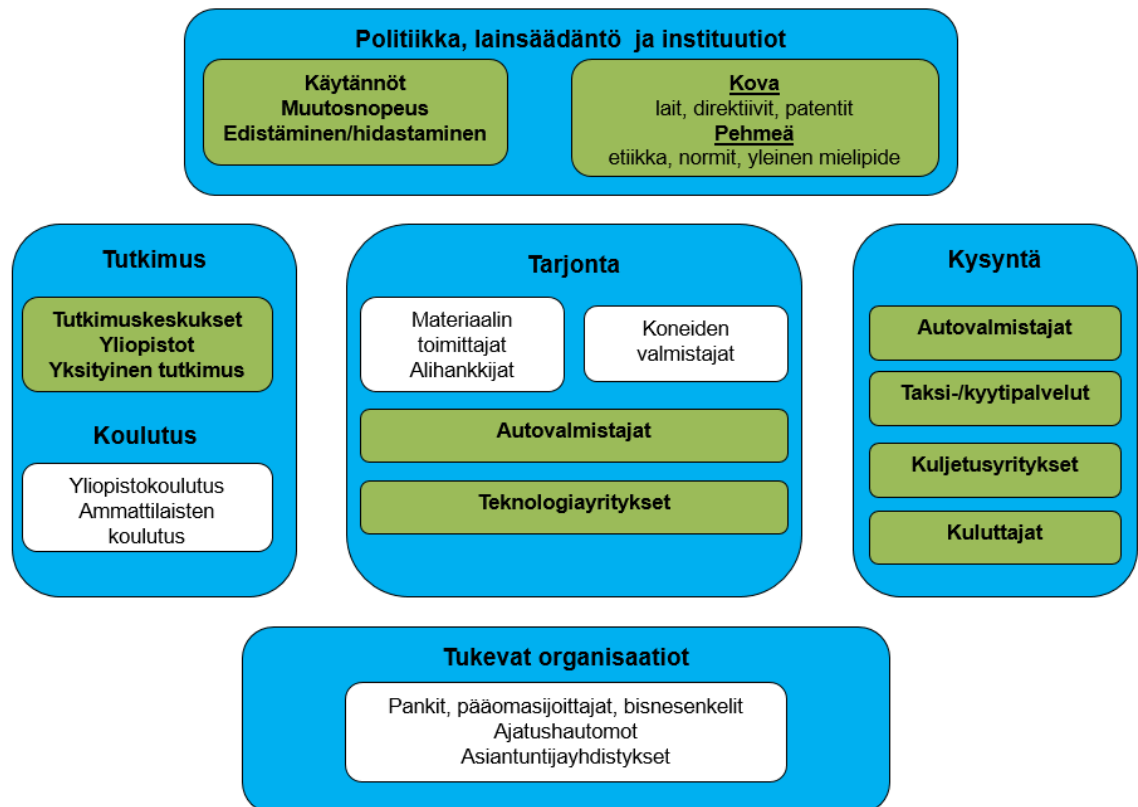
Ensimmäisenä 3.1 kappaleessa tarkastellaan innovaatiojärjestelmän rakennetta/struktuuria ja sen funktioita. Tämä pohjautuu pitkälti Hekkert et al. (2011) tutkimuksiin. Tämän

jälkeen edetään loogisesti kohti kappaleen 3.2 aihetta innovaatioiden diffuusio, eli teknologioiden/ideoiden leviäminen. Tätä tarkastellaan pintapuolisesti Bassin diffuusiomallin avulla sekä yksityiskohtaisemmin Rogersin (1983) diffuusiomallin avulla.

3.1 Innovaatiojärjestelmä

Teknologian innovaatiojärjestelmä on tieteen piirissä kehitetty konsepti, joka tarkoituksena on selittää teknologisen muutoksen luonne ja nopeus. Se voidaan määritellä dynaamisena verkkona, jossa toimijat ovat vuorovaikutuksissa keskenään institutionaalisen infrastruktuurin alla. Kyseisessä verkossa toimitaan teknologian tuottamisen, levittämisen ja hyödyntämisen parissa. Perusidea innovaatiojärjestelmän takana on lähestyä innovaation ja teknologian leviämistä selvittäen ensin järjestelmän rakenne ja sitten eri funktioiden ja toimijoiden vuorovaikutussuhteita. (Hekkert et al., 2011.)

Hekkert et al. (2011) mukaan innovaatiojärjestelmän rakennetta voidaan tarkastella ottamalla huomioon innovaatioon liittyvät organisaatiot, lainsäädäntö, tutkimus sekä kysyntä ja tarjonta. Tämä järjestelmän rakennekehys on kuvailtu kuvassa 3. Kehystä hyödynnetään tässä tutkimuksessa vain tietyltä osin, keskittyen erityisesti alalla toimiviin yrityksiin, yleiseen mielipiteeseen ja tutkimustietoon. Kuvassa 3 pyritään luomaan kokonaiskuva innovaatiojärjestelmän rakenteesta – vihreällä pohjalla olevat asiat käsittävät tämän tutkimuksen pääasialliset painopisteet, valkoisella pohjalla olevia ei käsitellä.



Kuva 3. Innovaatiojärjestelmän rakenne (soveltaen Hekkert et al. 2011).

Hekkert et al. (2011) kuvailevat seitsemän funktiota, jotka vaikuttavat uuden teknologian kehitykseen joiden avulla voidaan arvioida ja kuvata innovaatiojärjestelmää. Nämä funktiot ovat toimintoja, jotka vaikuttavat innovaatiojärjestelmän päämäärään ja sen saavuttamiseen. Nämä seitsemän funktiota (kuva 4) ovat: yritystoiminnan aktiivisuus, tiedon kehittyminen, tiedon leviäminen ja informaation vaihdanta, ohjaus ja visio, markkinan muodostuminen, resurssien kohdistus, muutosvastarinnan ehkäisy (mm. laillistaminen & lobbaus).



Kuva 4. Seitsemän innovaatiojärjestelmän funktiota (Hekkert et al., 2011).

3.2 Innovaatioiden diffuusio

Innovaatioiden diffuusio on teoria, joka pyrkii kertomaan, kuinka, miksi ja millä nopeudella uudet ideat ja teknologia laajenevat kohdepopulaatiossa tai -markkinassa. Teorian on kehittänyt Everett M. Rogers kirjassaan *Diffusion of Innovations*. Siinä diffuusio kuvataan prosessina, jossa innovaatiosta kommunikoidaan kerta toisensa jälkeen sosiaalisen systeemin jäsenten kesken. Näin innovaatio leviää vähitellen saavuttaen maturaatiotilanteen, jossa valtaosa populaatiosta tietää, ymmärtää ja mahdollisesti hyödyntää innovaatiota esimerkiksi laitteen, kuten matkapuhelimen tai ajoneuvon välityksellä. (Rogers, 1983.)

Diffuusio on usein hidas prosessi, eikä innovaatiota oteta käyttöön välittömästi, kun siitä kuullaan. Kirjassa esitetään viisi pääelementtiä (kuva 5) jotka vaikuttavat uuden idean/innovaation leviämiseen: keksintö itsessään, omaksujat, kommunikaatiokanavat, aika ja sosiaalinen systeemi. Innovaation leviämiseen ja nopeuteen vaikuttaa myös se, millaisena mahdolliset omaksujat kokevat sen tarjoaman suhteellisen hyödyn aiemmin käytössä olevaan välineeseen/sovellukseen verrattuna, yhteensopivuuden aiempien kokemusten, arvojen ja tarpeiden kanssa, monimutkaisuuden, kokeiltavuuden ja näkyvyyden. Muita keskeisiä tekijöitä ovat sosiaalisen systeemin normit ja lait, viestintätavat, muutosagentit ja mielipidevaikuttajat. (Rogers, 1983.)

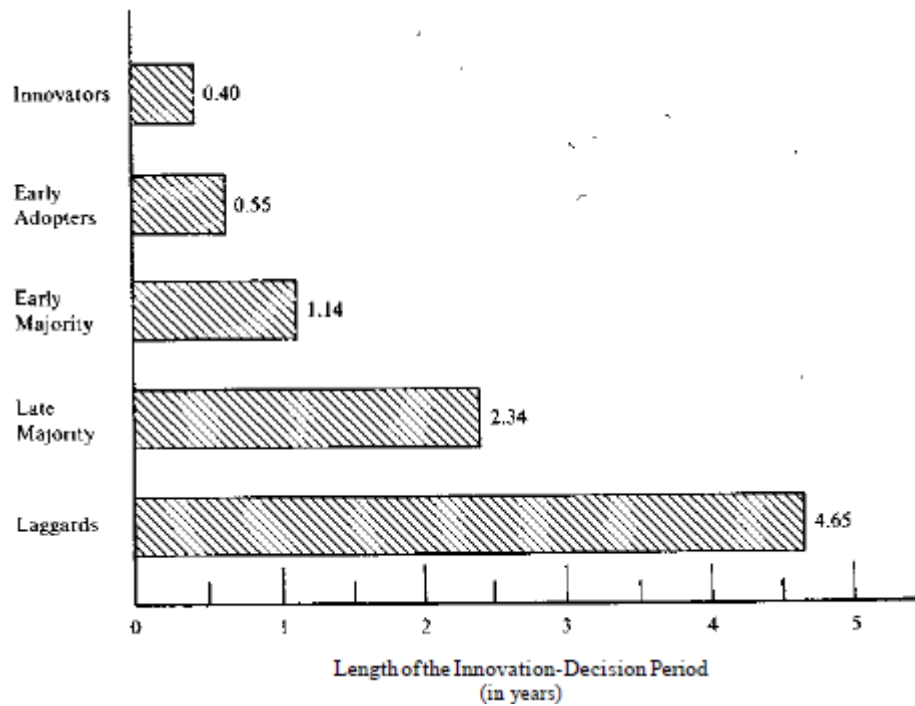
Avaintekijät	Määritelmä
Innovaatio	Mikä tahansa idea, toiminta tai esine joka koetaan uutena voidaan pitää innovaationa
Omaksujat	Minimi määrä yksiköitä analyysiin. Usein yksilöitä, mutta voi olla myös organisaatioita tai maita
Kommunikaatiokanavat	Mahdollistavat informaation kulun yksiköltä toiselle
Aika	Aika on välttämätöntä diffuusion omaksumiselle
Sosiaalinen systeemi	Yhdistelmä ulkopuolisia ja sisäpuolisia vaikuttajia

Kuva 5. Innovaation leviämiseen vaikuttavat pääelementit. (Rogers, 1983)

Innovaatiolle on tärkeää ihmisten vaikutus ja laaja hyväksyntä, jotta se voi edetä. Kun innovaation diffuusio on edennyt tarpeeksi, kohtaa se kriittisen pisteen, missä sen etenemisestä tulee itseänsä ylläpitävä luoden lisää kasvua. Kohdepopulaatiota voidaan kategorisoida erilaisin menetelmin. Seuraavaksi esitellään Rogersin esittämä jako.

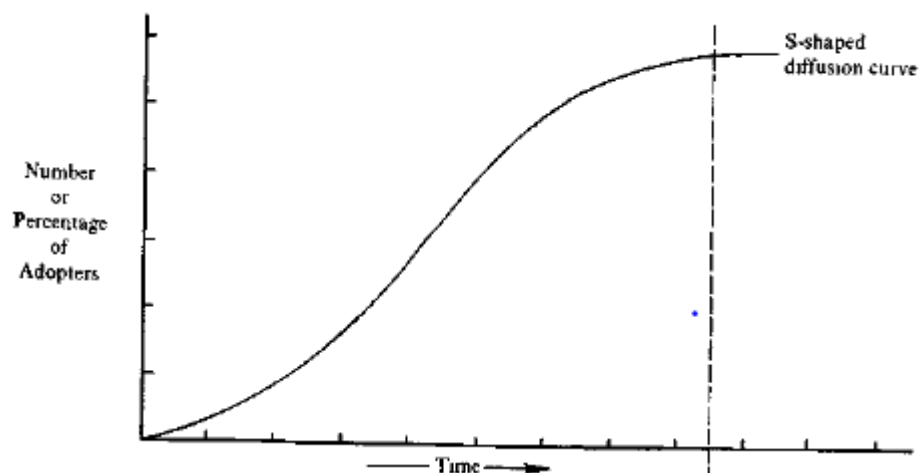
Innovaatioiden omaksujat luokitellaan Rogersin (1983) mukaan viiteen kategoriaan:

- Innovoijat – 2-3 % väestöstä: uskaliaita, koulutettuja, omaavat useita informaation lähteitä.
- Varhaiset omaksujat – 10-15 % väestöstä: sosiaalisia johtajia, suosittuja, koulutettuja.
- Varhainen enemmistö – 30-35 % väestöstä: vastaanottavaisia tultuaan vakuutetuiksi innovaation omaksumisen hyödyistä, useita eri sosiaalisia kontakteja.
- Myöhäinen enemmistö – 30-35 % väestöstä: skeptisiä, perinteisiä, alempi sosio-ekonominen asema.
- Hitaat omaksujat ('laggards') – 10-20 % väestöstä: vastustavat aktiivisesti uusia innovaatioita, naapurit ja ystävät pääasiallinen tiedonlähde, pelkäävät velkaantumista.



Kuva 6. Innovaatioon liittyvään päätöksentekoon kuluva aika vuosissa (Rogers, 1983).

Rogers (1983) tutki myös edellisten kategorioiden päätöksentekoprosessin kestoja uuden innovaation omaksumisen suhteen. Tutkimuksissaan Rogers huomasi, että innovoijat kykenevät huomattavasti nopeampiin päätöksiin (n. 5kk) verrattuna hitaampiin omaksujiin (yli 4v.). Päätöksentekoprosessiin liittyvän tutkimuksen tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 6. Kun otetaan huomioon ryhmien osuudet väestöstä ja näiden päätöksentekoprosesseihin kuluva aika, saadaan tukea Rogersin innovaation diffuusion S-funktiolle (esitetty kuvassa 7).



Kuva 7. Rogersin (1983) diffuusiomallin S-funktio.

Innovaation diffuusiota kuvaava S-funktio (kuva 7) kertoo, kuinka ajan kuluessa diffuusionopeus kasvaa eksponentiaalisesti alussa, minkä jälkeen diffuusionopeus alkaa hidastua saavuttaen lopulta lähes koko kohdepopulaation tai innovaatiolle ominaisen kypsyystason. Kuvaajan vaaka-akseli kuvaa aikaa ja pystyakseli innovaation omaksujien %-osuutta kohdepopulaatiosta. Eri innovaatioiden S-funktiot voivat olla hyvin eri muotoisia ja ne voivat saavuttaa kypsyystason (kasvun hidastuminen ja pysähtyminen) eri aikaväleillä. Markkinataloudessa S-funktiosta voidaan kerätä dataa ja muodostaa historiallinen S-funktio, mutta sen muodostumisen dynamiikasta (useat eri tekijät vaikuttavat eri tavoilla samanaikaisesti) johtuen sen ennustaminen voi olla hyvin hankalaa. (Rogers 1983.)

Uusien tuotteiden diffuusion ennustamiseen on kirjallisuudessa käytetty myös Bassin diffuusiomallia. Ismailin ja Abun (2013) tutkimuksessa käytettiin Bassin diffuusiomallia onnistuneesti ennustettaessa uuden auton diffuusiota Malesiassa. Matemaattisen mallin (Bassin diffuusio-) kolme muuttujaa ovat innovaatiot, imitaatiot ja omaksujien lukumäärä. Tässä työssä ei käytetä itse matemaattista mallia, mutta kappaleen 4.2 keskustelusta voidaan vetää johtopäätös, että itseohjautuvan auton osalta innovaatioita tuotteeseen liittyen on runsaasti ja niitä syntyy jatkuvasti lisää. Tämän lisäksi useat suuret ja vaikutusvaltaiset auto- ja ohjelmistoyritykset (=imitaatioiden määrä suuri) ovat lähteneet mukaan kehittämään itseohjautuvia autoja ja niihin liittyviä teknologioita. Kappaleen 5.4 mukaan vaikuttaa siltä, että markkinoilla on olemassa huomattava määrä potentiaalisia, innokkaita ja tarvittavan ostovoiman omaavia omaksujia itseohjautuville autoille.

Itseohjautuvan auton diffuusion arvioimiseen on luotu tässä työssä myös käsitekehyspohja (kuva 8), jonka avulla diffuusioon vaikuttavia tekijöitä voidaan listata ja kategorisoida. Tämä käsitekehyspohja täytettiin tutkimuksen aikana (kappale 5.4, kuva 15) ja sillä pyrittiin luomaan keino, jolla lukijalle voitaisiin tiivistää tutkimuksen olennaisimmat osat.

		Nykytila	Tulevaisuuden haasteet	Mahdollisia ratkaisuja	Aika- jänne
Tekninen näkökulma	Tuotanto				
	Ydinteknologiat				
	Infrastruktuuri				
	Testaus & turvallisuus				
Liiketaloudellinen näkökulma	Hinta				
	Verotus & kannustimet				
	Väestön mielipide				
	Lainsäädäntö				

Kuva 8. Käsitemuoto itsehajautuvan autokonseptin arviointiin.

3.3 Aikajana-analyysiin pohjautuva ennustaminen

Uuden teknologian markkinoille tulonopeutta voidaan ennustaa katsomalla taaksepäin aikaisempien saman tyyppisten tai samalla alalla olevien innovaatioiden kehitystä historiallisesti. Ennustaessa katsotaan edellisten teknologioiden elinkaarta niiden markkinoille tulosta nykyhetkeen ja minkälaisen markkinakypsyyden ne ovat saavuttaneet aikajanan eri kohdissa. Sen jälkeen tuloksia mallinnetaan katsomalla niiden keskiarvoja ja trendejä. Tämän lisäksi voidaan tarkastella esimerkiksi kustannusten kehitystä teknologian kypsyessä.

Kyseiseen ennustamismenetelmään liittyy epävarmuustekijöitä, kuten kaikkiin ennusteisiin. Markkinataloudessa on aina läsnä lukuisia muuttujia, jotka muuttuvat jatkuvasti ajan kuluessa ja vaikuttavat myös toisiinsa. Alla kuvataan muutamia muuttujia ja niiden mahdollisia vaikutuksia teknologian diffuusioon. Lyhyen pohdinnan myötä huomataan, että ennusteita on helppo tehdä, mutta luotettavien ennusteiden tekeminen on erittäin haastavaa.

Kilpailutilanne yritysten välillä luo kannustimet ajaa oman teknologian yleistymistä muiden, kilpailevien teknologioiden kustannuksella. Täten on mahdollista, että paras mahdollinen teknologia ei saavuta kuluttajia mikäli kilpaileva teknologia tulee massakäyttöön ”winner takes all” –konseptin mukaisesti. Toistaiseksi voidaan teoriassa kestävän kehityksen näkökulman kannalta pohtia, kävikö näin polttomoottorin ja sähkömoottorin välillä autoteollisuudessa ennen 2000-lukua polttomoottorin muodostettua ”dominant design”:n markkinoilla.

Juridinen ja legislatiivinen tilanne elää jatkuvasti – oikeusistuimet tuomitsevat ja hyväksyvät erilaisia toimintakäytäntöjä sekä patentteja. Lainsäätäjät voivat erilaisien määräyksien, direktiivien ja lakien avulla vaikuttaa teknologioiden käyttöönottoon merkittävästi. Tästä positiivisena esimerkkinä Yhdysvalloissa turvallisuusstandardin velvoite (Federal Motor Vehicle Safety Standard 208) turvavyöstä henkilöautoissa vuodelta 1968. Mikäli kansainvälisesti merkittävä oikeusistuin esimerkiksi tuomitsisi autovalmistajan huomattaviin vahingonkorvauksiin itseohjautuvan auton aiheuttamasta vahingosta, saat-taisi teknologian leviämisenopeus heikentyä huomattavasti.

Yleinen mielipide vaikuttaa teknologian diffuusioon, kuten Rogersin mallissa esitetään, ja erilaiset toimijat, kuten media ja toimittajat, voivat käyttää huomattavaa valtaa yleisen mielipiteen ohjaamisessa, muokkaamisessa ja muodostamisessa. Informaation saatavuus on viime vuosikymmenien aikana parantunut merkittävästi, mutta mielipidejohtajat ja media-alan päättäjät pystyvät vaikuttamaan suuriin ihmismääriin tehokkaasti valikoidulla julkaistavalla materiaalia palvelleen yhtä tai toista intressiä. Toisaalta myös yksittäiset henkilöt, kuten Teslan toimitusjohtaja Elon Musk, pystyvät vaikuttamaan yleiseen mielipiteeseen merkittävästi omilla lausunnoillaan.

4 Itseohjautuvan autokonseptin kypsyysasteen arviointi

Seuraavissa kappaleissa käsitellään itseohjautuvan autokonseptin kypsyysastetta tarkastellen ensin innovaatiojärjestelmää ja innovaation diffuusiota. Innovaatiojärjestelmä esitellään, minkä jälkeen eri asiantuntijaraporttien ja artikkelien avulla kappaleessa 4.1 pohditaan innovaatiojärjestelmän ja innovaation aikaansaamia muutoksia ja vaikutuksia tulevaisuuteen. Kappale 4.2 keskittyy innovaation diffuusioon markkinoille käyden läpi

alan toimijoiden julkilausumia tavoitteita ja kuvauksia teknologian kypsyydestä. Kappaleen lopussa kerrataan muutaman konsulttiselvityksen ennusteita itseohjautuvan auton diffuusiosta.

Itseohjautuvan auton diffuusionopeutta ja laajuutta ennustetaan kappaleessa 4.3 ajana-analyysin avulla käyttäen hyväksi muiden autoalan innovaatioiden historiallista diffuusionopeutta. Viimeisenä kappaleessa 4.4 tehdään yhteenveto innovaation kypsyyksistä.

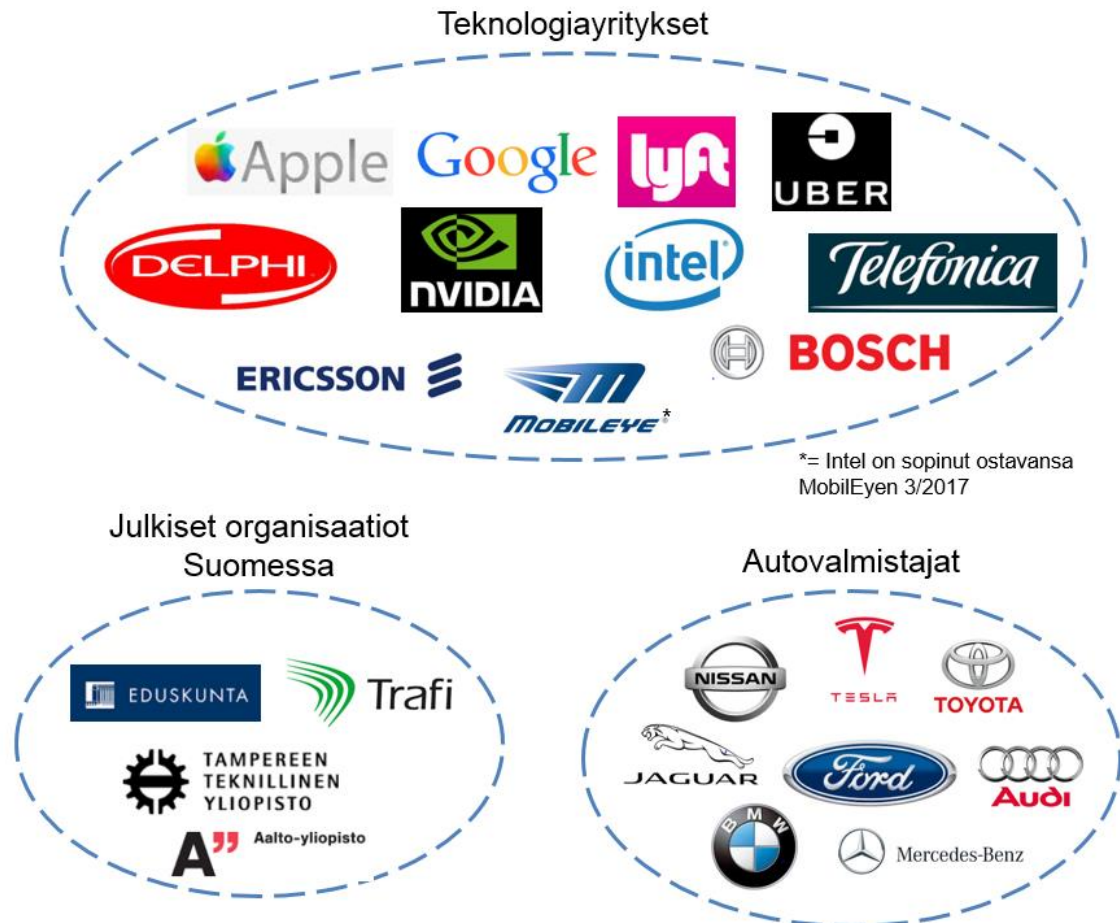
4.1 Itseohjautuvan autokonseptin innovaatiojärjestelmä

Itseohjautuvien autojen innovaatiojärjestelmän rakenteessa kuvassa 3 suurta roolia näyttelevät julkisten organisaatioiden osalta Suomessa eduskunta, Liikennevirasto Trafi sekä suomalaiset yliopistot. Eduskunta ja Trafi ovat tärkeimmät tekijät lainsäädännön ja tieliikennekäytäntöjen osalta. Jotta lainsäädäntö ja käytännöt palvelisivat yhteiskunnan kehitystä kohti itseohjautuvia liikennejärjestelmiä, tulee julkisten organisaatioiden tehdä jatkuvasti yhteistyötä yksityisten organisaatioiden kanssa. Innovaation kysynnän ja tarjonnan kannalta tärkeimpiä rooleja näyttelevät autovalmistajat, teknologiayritykset (erityisesti IT-ala), logistiikka-alan yritykset sekä kuluttajat. Kuvaan 9 on koottu Suomen ja globaalin näkökulman kannalta oleellisia innovaatiojärjestelmän toimijoita. Tämä tutkimus ei käsittele alan tuotantofunktiota tai rahoitusta yksityiskohtaisesti, joten pankit, pääomasijoittajat ja muu rahoitukseen tai itse tuotantoon liittyvät yksityiskohdat on rajattu tutkimuksen osalta pois. Tämä ei tarkoita sitä, että osatuotanto, rahoitus ja ammattilaisten koulutus eivät olisi tärkeitä innovaation laajan diffuusion kannalta.

Innovaatiojärjestelmän funktiot esiteltiin kuvassa 4 sisältäen yritystoiminnan aktiivisuuden, markkinoiden muodostumisen, resurssien kohdentamisen, ohjauksen ja vision, tiedon leviämisen ja informaation vaihtumisen, tiedon kehittymisen sekä muutosvastarinnan ehkäisyn. Innovaation diffuusion edistämisen kannalta on oleellista, että järjestelmän eri toimijat vuorovaikuttavat toistensa kanssa yllä mainittujen funktioiden piirissä. Teknologian kehitys ja markkinoiden muodostuminen vaatii merkittäviä resursseja niin yksityiseltä kuin julkiseltakin sektorilta. Johtava tekoälytutkija (Baidu, Stanfordin yliopisto) Andrew Ng (2016) painottaa, että teknologia-alan tulee tehdä läheistä yhteistyötä niin hallitusten kuin yhteiskunnankin kanssa, jotta itseohjautuvat autot saavat johtavan

markkina-aseman ja ovat turvallisempia sekä luotettavampia kuin nykyiset autot. Resurssien kohdentaminen lainsäätäjien, yritysten ja yliopistojen toimesta vaikuttaa huomattavasti innovaation kehitykseen ja diffuusioon (kappale 4.2). Myös ohjaus ja visio muodostuvat dynaamisesti yritysten ja julkisen sektorin vuorovaikutuksessa – molemmat muuttuvat ajan kanssa, eivätkä säily vakioina. Tiedon kehittymisen, leviämisen ja informaation vaihtumisen kannalta jatkuva vuoropuhelu yliopistojen, julkisten organisaatioiden ja yritysten välillä on välttämätöntä kehitykselle. Muutosvastarinnan ehkäisyssä niin ikään kaikki toimijat ovat osallisia prosessiin – lainsäädäntö ja siihen vaikuttaminen, lobbaus, ovat tärkeitä elementtejä itseohjautuvien autojen markkinaosuuden kasvaessa entistä merkittävämmäksi. Tätä aihepiiriä käsitellään laajemmin Lainsäädäntö ja valtiotason päätökset (5.3) kappaleessa. Kappale 4.2 käsittelee yritystoiminnan aktiivisuutta ja markkinoiden muodostumista yksityiskohtaisemmin.

Seuraavaksi käsitellään lyhyesti innovaatiojärjestelmään ja innovaation diffuusioon vaikuttavia merkittäviä makrotaloudellisia ilmiöitä. Innovaatiolla on merkittäviä seurauksia suurten toimialojen ja kuluttajien kannalta, minkä vuoksi makrotason tarkastelu innovaation diffuusiosta on tarpeellinen. Makrotason tarkasteluun pyritään hyödyntämällä investointipankki Morgan Stanleyn, Bloombergin, öljy-yhtiö BP:n pääekonomistin ja the Economistin artikkelin tuomien erilaisten lähestymistapojen avulla.



Kuva 9. Itseohjautuvan auton innovaatiojärjestelmän toimijoita.

Amerikkalaisen investointipankki Morgan Stanleyn (2015) mukaan lähitulevaisuudessa syntyvät lapset kokevat hankalaksi uskoa, että heidän vanhempansa itseasiassa ajoivat autoja. Itseohjautuvat autot tulevat selvityksen mukaan tuomaan suuria sosiaalisia ja yhteiskunnallisia muutoksia – autoalan bisnesmalli tulee muuttumaan ja keskittyminen tulee siirtymään moottoreista ja voimansiirrosta ohjelmistoihin ja käyttäjäkokemukseen. Innovaatio muuttaa maailmaa Morgan Stanleyn (2015) raportin mukaan niin paljon, että useat eri toimijat, kuten teleoperaattorit, vakuutusyhtiöt, siruvalmistajat ja ohjelmistokehittäjät tulevat kokemaan alallaan suuria muutoksia itseohjautuvien autojen johdosta täten antaen niille intressin vaikuttaa innovaation kehitykseen ja olla osa innovaatiojärjestelmää.

Shanklemanin ja Warrenin (2017) artikkelin mukaan 60% nykyään käytetystä öljystä menee tavaroiden tai ihmisten kuljetukseen. Itseohjautuvien autojen yleistyessä ennakoidaan myös sähköautojen yleistyvän samankaltaista vauhtia, (sähköautojen ja itseohjau-

tuvien autojen yhteinen kehitys, kts. kappaleet 4.2 ja 5.3) jolloin öljyn kulutus kokisi merkittävän kolauksen – tämä voi antaa öljy- ja energiateollisuudelle merkittävän kiinnostuksen osallistua tai vaikuttaa itseohjautuvien autojen kehitykseen ja diffuusioon. Artikkeleissa kerrotaan öljy-yhtiö BP:n pääekonomistin Spencer Dalen ennusteesta, että sähköautojen saavuttaessa iPhone-tyyppisen markkinasuosion, voi sähköautojen määrä kasvaa nykyisestä 1,2 miljoonasta 450 miljoonaan vuoteen 2035 mennessä.

The Economistin artikkelin (2017) ”The long, winding road for driverless cars” mukaan itseohjautuvat autot ovat ajallisesti hyvin kaukana todellisuudesta ja markkinahuumasta huolimatta eivät saavuta suurta suosiota tulevan vuosikymmenen aikana. Artikkelin kritisoi Elon Muskin ennustetta, jonka mukaan kahden vuoden sisällä kuljettajat voisivat nukkua automatkan aikana antaen täyden kontrollin autolle (SAE tason 5 automaatio). Artikkeleissa nostetaan esiin huolestuttava esimerkki siitä, että vakioitoiminnot siirretään laitteen käyttäjältä laitteelle itselleen ja laitteen käyttäjä vain valvoo tilannetta – verrattavissa tason 3 automaatioon. Tämänkaltaisen tehtävien siirron seurauksena vuonna 1979 Three Mile Islandin ydinreaktorionnettomuus sai alkunsa ja lopullisessa onnettomuusraportissa syytettiin onnettomuudesta käyttäjän heikkoa koulutusta ja huonosti suunniteltua käyttöjärjestelmää. On helppoa kuvitella skenaario, jossa itseohjautuva auto esimerkiksi ajaisi pienen lapsen yli, mikä voisi johtaa merkittävään vastarintaan teknologian diffuusiota kohtaan – oli syy onnettomuuteen sitten järjestelmässä tai ei. Kirjoituksen (The Economist 2017) mukaan vaikka itseohjautuvat autot tulisivat markkinoille, yllättävän moni ihminen haluaisi silti itse ajaa autoaan teknologian saatavuudesta huolimatta.

4.2 Itseohjautuvien autojen diffuusio markkinoille

Itseohjautuvien autojen diffuusio on alkanut länsimaissa suuren mediasuosion keskellä. Tässä kappaleessa tarkastellaan diffuusiota Rogersin mallin mukaisesti arvioimalla itseohjautuvia autoja, innovaation omaksujia, kommunikaatiokanavia, aikaa sekä sosiaalista systeemiä. Median avulla yritykset ovat kommunikoineet viestiään itseohjautuvista autoista aktiivisesti, mistä johtuen tämän kappaleen pääasialliset lähteet ovat lehtiartikkeleita. Sosiaalista systeemiä ja kuluttajia, eli suurta osaa innovaation omaksujista, tarkastellaan yksityiskohtaisemmin kappaleessa 5.4 Kuluttajien mielipiteet, hyväksyntä ja aikomus käyttää itseohjautuvia autoja. Tämän kappaleen lopussa esitetään muutamia tulevaisuuden ennusteita itseohjautuvien autojen diffuusiosta konsulttiyritysten selvitysten ja johtavan tekoälytutkijan linjausten avulla.

Suomessa on tehty liikennekokeiluja itseohjautuvien bussien avulla Helsingin Hernesaaressa, Espoon Otaniemessä sekä Tampereen Hervannassa (jälkimmäiset teknisten yliopistojen yhteydessä). Pilottien avulla on testattu automaattisen liikennejärjestelmän tuomista osaksi nykyistä liikennejärjestelmää. Kokeilut ovat olleet osa SOHJOA-hanketta, jossa kuusi Suomen suurinta kaupunkia kehittävät avoimia ja älykkäitä palveluita (Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2016 – ”Robottibussit liikenteeseen Hervannassa”). Pilottien voidaan katsoa toimivan Rogersin mallin mukaisesti kaikilla osa-alueilla: innovaatiota esitellään kuluttajille pitkäaikaisesti samalla lisäten omaksujien määrää ja halukkuutta hyödyntää innovaatiota. Kommunikaatiokanavien osalta yliopistot ja media ovat uutisoineet aiheesta aktiivisesti ja näin innovaatiota on myös tuotu osaksi sosiaalista systeemiä.

Itseohjautuvat autot ovat saaneet huomiota sci-fi kirjallisuuden & elokuvien ohella mediassa merkittävänä, todellisena vaihtoehtona vasta 2010-luvulla. Merkittävänä itseohjautuvien autojen räjähdysmäisen kehityksen lähtölaukaisuna voidaan pitää Googlen ilmoitusta itseohjautuvan auton kehittämistoimien aloittamisesta lokakuussa vuonna 2010 (Gaudin). Täten Rogersin mallin mukaisesti aikaa on kulunut teknologian diffuusion kannalta kohtalaisen vähän, noin seitsemän vuotta. Aika-komponenttia havainnollistetaan myöhemmin kappaleessa 4.4 kuvalla 12. Kuvasta huomataan, että markkinakäsitys ja uskomukset itseohjautuvien autojen markkinoille tulosta ja diffuusiosta ovat hyvin nopeita. Täysin itseohjautuvat autot ovat alan yritysten mukaan osa nykyistä liikennejärjestelmää hyvin pian.

Media on tärkeä kommunikaatiokanava innovaatioiden diffuusion kannalta. Googlen perustaja Sergey Brin kommentoi itseohjautuvia autoja puheessaan 2012 (Driverless car watch), minkä jälkeen arvostetut kansainväliset mediat ovat uutisoineet aiheesta aktiivisesti. Elon Musk, Teslan toimitusjohtaja, on toiminut toisena itseohjautuvien autojen aktiivisena puolestapuhujana. Vuoden 2012 jälkeen huomattavia, kansainvälisiä kommunikaatiokanavia, jotka ovat uutisoineet itseohjautuvista autoista ovat esimerkiksi Bloomberg, The Economist, Forbes ja Reuters.

Uberin entinen toimitusjohtaja Travis Kalanick on esittänyt vuonna 2015 (Goddin) ehkä optimistisimman näkemyksen itseohjautuvien autojen diffuusiosta ja tulevaisuudesta. Kalanick sanoi Uberin kyytipalvelun autokaluston olevan täysin itseohjautuva vuonna 2030 ja palveluiden hinnan olevan niin alhainen, että auton omistamisesta tulee täysin

turhaa. Uber on merkittävä toimija markkinoilla – se toimii yli 60 maassa ja yli 300 kaupungissa. Toisaalta Uber toimii vain suurissa kaupungeissa, jolloin merkittävä osa kehittyneen ja kehittyvän maailman kuluttajista ei kykene päivittäin hyödyntämään sen palveluita.

Tesla on toiminut autojen sähköistämisessä ja datan keräämisessä itseohjautuvuutta varten tiennäyttäjänä Googlen omistaman Waymon ohella ja Tesla on kerännyt Hullin (2016) mukaan omista autoistaan vuoden 2016 joulukuuhun mennessä yli kahden miljardin ajatun kilometrin verran ajodataa, jota voidaan hyödyntää itseohjautuvan järjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa. Elon Musk, Teslan toimitusjohtaja, arvioi vuonna 2017 (Stumpf), että SAE:n mukaisen tason 5 itseohjautuvat autot tulevat tuotantolinjoilta kahden vuoden aikaikkunan aikana. Saman artikkelin mukaan suurin este innovaation nopealle diffuusiolle Yhdysvalloissa ovat Stanfordin yliopiston kokoamat listat eri osavaltioiden erilaisista lainsäädännöistä liikennettä koskien – järjestelmän rakentaminen niin, että se on laillinen kaikissa 50 osavaltiossa vaatii vielä merkittävästi lainsäädännön yhtenäistämistä eri osavaltioiden osalta. Yhdysvaltain lainsäädäntöä käsitellään lisää kapaleessa 5.3. Hiukan hitaamman markkinoille tulon ja diffuusion näkemystä esitti Intelin teknologiajohtaja Justin Rattner vuonna 2012. Gaudinin (2012) mukaan Rattner ennusti itseohjautuvien autojen tulevan markkinoille kymmenen vuoden sisällä ja kuluttajien tottumuksien muuttuvan siten, että tulevaisuudessa he ovat kiinnostuneita lähinnä auton sovelluksista, eivätkä konepellin alla olevasta moottorista.

Tesla on yrityksenä ollut disruptiivinen autovalmistajien markkinoilla ja on siten saanut aikaan myös merkittäviä muutoksia alalla. Tästä esimerkkinä Lambertin (2016) artikkelissa mainitaan, että saksalaisten premium-luokan autovalmistajien Audi, BMW ja Porsche yhtiökokouksissa on nostettu esiin kilpailu Teslan kanssa suuren kantaman omaavan sähköauton markkinoilla. Nämä valmistajat ovat useita vuosia Teslan perässä, mutta kehitys on ollut viime vuosina nopeaa. Lambertin artikkelissa siteerataan BMW:n toimitusjohtajaa, joka kertoi BMW:n suunnitelmasta tuoda markkinoille täysin itseohjautuva iNext-malli vuonna 2021.

Torin artikkelissa (2014) Audin Stefan Moser ennusti uuden Audi A8 –mallin ajavan itsenäisesti paremmin kuin ihmiskuski. Hawkins (2017) uutisoi tämän A8 –mallin julkaisusta ja Audin mukaan tämän tulee olemaan ensimmäinen SAE luokan 3 automaatiotason ajoneuvo sarjatuotannossa. Audin mukaan malli kykenee täysin itsenäiseen ajamiseen aina 60 kilometrin tuntinopeuteen hyödyntämällä LIDARia, etukameraa, tutkaa ja

yliaänisensoreita. Hawkins (2017) raportoi myös Audin yhteistyöstä NVIDIA:n kanssa itseohjautuvan teknologian parissa ja aikomuksesta alkaa myymään automaatiotason 4 (SAE) ajoneuvoja vuonna 2020. NVIDIA:n teknologia itseohjautuviin autoihin mahdollistaa esimerkiksi sen, että auton kuljettaja voi käskää autoa viemään hänet kotiin suuresta taustamelusta huolimatta, sillä järjestelmä kuuntelemisen lisäksi lukee viestin kuljettajan huuilta Rossin (2017) mukaan. Shapiron (2017) kirjoituksessa kerrotaan, että maailman suurin ajoneuvoteollisuuden alihankkija Bosch tekee NVIDIA:n kanssa yhteistyötä tekoälyjärjestelmän rakentamisen parissa ajoneuvoteollisuudelle ja NVIDIA:n toimitusjohtajan mukaan yritys kykenee toimittamaan autovalmistajille SAE tason 4 mahdollistavat palvelut, sensorit ja sovellukset vuoden 2018 aikana.

Nissanin toimitusjohtaja Carlos Ghosn ilmoitti Bigmanin artikkelin mukaan vuonna 2013 tavoitteestaan tuoda itseohjautuvat autot markkinoille vuonna 2020. Ghosnin mukaan merkittävä etu kuluttajille on liikkumiskyvyn säilyttäminen entistä pidempään itseohjautuvien autojen avulla. Nissanin omassa lehdistötiedotteessa (NissanNews) yritys ilmoitti olevansa valmis tuomaan vuonna 2020 useita itseohjautuvia malleja markkinoille. Lehdistötiedotteessa Nissan kertoi tekevänsä yhteistyötä itseohjautuvien autojen kehityksessä seuraavien huippuyliopistojen kanssa: MIT, Stanford, Carnegie Mellon, Oxford ja Tokion yliopisto. General Motorsin omistama Cadillac tuo Hawkinsin mukaan SAE tason 2 itseohjautuvan auton, CT6:n markkinoille syksyllä 2017. Cadillacin itseohjautuva järjestelmä hyödyntää LIDAR dataa, kameroita, sensoreita ja GPS-järjestelmää. Järjestelmä on hinnoiteltu maksamaan lisävarusteena 2 500 – 5 600 dollaria riippuen automallista. GM on osoittanut suurta kiinnostusta itseohjautuvuutta ja kyytipalveluja kohtaan ostamalla Cruise Control startupin (itseohjautuvuusjärjestelmät) sekä sijoittamalla 500 miljoonaa dollaria kyytipalvelu Lyftiin. (Hawkins, 2017.)

Hawleyn (2014) artikkelissa Jaguar Land Roverin (jatkossa JLR) tutkimus- ja kehitysjohtaja kertoi yrityksen olevan valmis tuottamaan itseohjautuvia autoja seuraavan vuosikymmenen aikana (vuoteen 2024 mennessä). JLR tekee yhteistyötä Lyftin kanssa itseohjautuvien autojen parissa Newcomerin (2017) mukaan. Krisherin (2016) mukaan Lyftin perustaja John Zimmer sanoi Lyftin palvelun käyttämien autojen olevan suurimmaksi osaksi itseohjautuvia viiden vuoden sisällä ja sen tuomien kustannussäästöjen avulla auton omistamisesta tulee ennen pitkää turhaa. Torrin (2014) artikkelissa Volvosta kerrotaan yrityksen tavoittelevan nollaa liikennekuolemaa ja vakavaa onnettomuutta Volvo-kuskeille ja tavoitteen osalta tärkeimmän osa-alueen olevan itseohjautuvien autojen teknologia ja automaatio. Automaation ja itseohjautuvuuden avulla onnettomuuksia voidaan

Volvon tutkimus- ja kehitysjohtajan Mertensin mukaan (Torr, 2014) välttää kokonaan sekä pienentää kuolonuhreja vaativien kolareiden ja vakavien vammautumisten todennäköisyyttä.

Ford on ylläpitänyt teknologiaan keskittyvää toimipistettä Kalifornian Piilaaksossa vuodesta 2012 ja yrityksen toimitusjohtaja Mark Fields kertoi helmikuussa Su:n haastattelussa Forbesille 2015 vuonna odottavansa täysin itseohjautuvia autoja markkinoille viiden vuoden kuluessa. Fields kertoi vuonna 2016 (Lienert & Sage) Fordin aikeista lisätä investointeja Piilaaksoon ja tavoitteesta tarjota täysin itseohjautuvien autojen kyytipalvelua kaupallisesti vuonna 2021. Samassa artikkelissa Fields ei erotellut, tuleeko Ford tekemään tämän yhteistyössä nykyisten kyytipalvelujen kuten Uberin tai Lyftin kanssa vai itsenäisesti. Fordin teknologiajohtaja Raj Nairin (Lienert & Sage, 2016) mukaan yritys pyrkii saavuttamaan massamarkkinat kyytipalvelun avulla tehden autoista huokeampia, tosin itseohjautuvat autot ilman rattia ja polkimia eivät Nairin mukaan saavuta kuluttajia ennen vuotta 2025. Ciferrin (2016) artikkelissa Nair kertoo itseohjautuvien autojen markkinoille tulon tärkeimpien kehityshaasteiden olevan paremmat sensorit ja sovellukset, joilla järjestelmä pystyy mallintamaan liikennettä ihmisen tavoin. Nair uskoo SAE automaatiotason 4 autojen tulevan markkinoille vuonna 2020 (Ciferri 2016). Samassa artikkelissa Nair kertoo Fordin yhteistyöstä Amazonin kanssa, tulevaisuudessa kuljettaja voi antaa ohjeita Amazonin Echo -kaiuttimen Alexalle (tekoälyn omaava henkilökohtainen avustaja, kuten Applen Siri) auton käynnistämisestä ja muista toiminnoista mahdollistaen auton hallinnan olohuoneen sohvalta. Garunin (2017) mukaan Ford Fusion Energi on ensimmäinen auto, jossa Alexa älyavustajan palvelut toimivat, toisin sanoen autolle voi antaa käskyjä samaan tapaan kuin älypuhelimelle.

Toyota on ilmaissut tuovansa markkinoille ensimmäisen itseohjautuvan autonsa vuonna 2020 Caddyn (2015) mukaan. Toyota on artikkelin mukaan työskennellyt itseohjautuvan teknologian parissa jo 1990-luvulla ja ensimmäinen itseohjautuva auto tulee pohjautumaan Lexus GS –malliin. Golsonin (2017) mukaan Toyota Research Institute (TRI) esitteli itseohjautuvan Lexus LS 600hL –mallin, joka kykenee itseohjautuvuuteen LIDARin, tutkien ja kameroiden avulla. TRI on Toyotan oma, yli miljardin dollarin tekoälyohjelma, joka toimii Stanfordin, MIT:n ja Michiganin yliopiston kanssa läheisessä yhteistyössä. Instituutin kaksi tutkimusohjelmaa ovat Chaffeur ja Guardian, ensimmäinen keskittyen SAE tason 4 ja 5 itseohjautuvuuteen ja jälkimmäinen keskittyen nykyaikaisen ajamisen turvallisuuden kehittämiseen automaation avulla (Golson 2017).

Webbin ja Changin (2017) kirjoittamassa artikkelissa Applen toimitusjohtaja Tim Cook kertoi ensimmäistä kertaa julkisesti Applen suunnitelmista itseohjautuvien autojen osalta. Cook kertoo, että itseohjautuvat järjestelmät ovat Applen strategian keskiössä, eikä yrityksellä ole aikeita alkaa tuottamaan omaa autoa. Cook kuvailee itseohjautuvaa autoa kaikkien aikojen tekoälyprojektiksi. Videoidussa haastattelussa Cook kertoo uskovansa, että automarkkinoita odottaa valtava muutos, joka johtaa juurensa itseohjautuvan teknologian, sähköautojen ja kyytipalvelujen mullistavaan kehitykseen. Webbin ja Welchin (2017) artikkelissa Applen kerrotaan tehneen autovuokrausyritys Hertzin kanssa yhteistyösopimuksen testatakseen itseohjautuvien autojen teknologiaa.

Waymo on Googlen entinen itseohjautuviin autoihin keskittyvä projekti, josta on kehitetty itsenäinen, Googlen omistama yritys. Waymo teki (Bergen, 2017) autonvuokrausyritys Aviksen kanssa sopimuksen, jonka mukaan Avis hallinnoi Waymon itseohjautuvia autoja aloittaen toimintansa Phoenixissä, Arizonassa. Avis omistaa Zipcarin, on-demand autonvuokrauspalvelun, jolla on yli miljoona rekisteröitynyttä käyttäjää, mitä Waymo-yhteistyösopimuksella voidaan hyödyntää. Bergenin (2017) artikkelin mukaan sopimusta ei tehty yksinoikeudelliseksi, joten Waymo voi tehdä vastaavia sopimuksia eri yritysten kanssa päästen käsiksi suuriin massamarkkinoihin. Ohnsmanin (2017) kirjoituksen mukaan Waymo rekisteröi Kalifornian osavaltiossa yli miljoona ajettua kilometriä itseohjautuvalla autolla osana julkisilla teillä toteutettavia testiajoja. Tämä oli selvästi enemmän kuin yksikään osavaltiossa toimivista kilpailijoista.

Abbugaon (2016) mukaan amerikkalainen ohjelmistoalan yritys nuTonomy aloitti itseohjautuvien taksien testaamisen Singaporessa vuonna 2016. NuTonymyn operatiivinen johtaja kommentoi Abbugaon artikkelissa yrityksen tavoitteiksi ”toimia 2020 vuonna kymmenessä kaupungissa Aasiassa, Yhdysvalloissa ja ehkä Euroopassa”. Delphi ja Intelin ostama MobilEye solmivat vuonna 2016 sopimuksen itseohjautuvan autojärjestelmän rakentamisesta vuoteen 2019 mennessä Hawkinsin (2016) mukaan. Uutisen mukaan merkittävät autoalan osatoimittajat pyrkivät kehittämään SAE tason 4 itseohjautuvuusjärjestelmän massamarkkinoille suunnattuna. Delphin pääjohtaja Kevin Clarkin mukaan merkittävät ajurit itseohjautuvien autojen diffuusiolle ovat lainsäätäjien halu vähentää loukkaantumisia ja kuolemia liikenteessä, kaupunkisuunnittelijoiden halu kehittää puhtaampia kaupunkeja ja vähemmän parkkipaikkoja, tämän lisäksi kuluttajat haluavat vähemmän liikennettä ja kyvyn käyttää työmatkoihin käytettyä aikaa entistä tehokkaammin. Clarkin näkemyksen mukaan itseohjautuvat autot ovat kaupunkisuunnittelun luvattu maa. (Hawkins 2016.)

Tulevaisuuden ennusteet

Baidun johtava tutkija, Stanfordin professori ja tekoälytutkija Andrew Ng (2016) ennusti, että itseohjautuvat autot olisivat massatuotannossa vuonna 2021. Hänen mukaansa järjestelmän suurin haaste on harvinaiset tapaukset, joita tapahtuu esimerkiksi kerran 10 000 ajettua mailia kohden (=16 000 km) – kuinka tekoäly kykenee esimerkiksi erottamaan ja tulkitsemaan oikein rakennustyöntekijän käsisignaalit tietyömaalta tekemättä virheitä.

McKinseyn raportin ”Automotive Revolution, Perspective Towards 2030” (2016) mukaan täysin itseohjautuvien autojen markkinaosuus voisi saavuttaa 15 prosenttia uusien autojen myynnistä vuonna 2030, mikäli teknologiset ja lainsäädännölliset haasteet saadaan ratkaistua. Kyseisiä ongelmia käsitellään enemmän kappaleissa 5.1-5.3. Edistyneet kuljettajaa tukevat järjestelmät (ADAS) ovat suuressa roolissa lainsäätäjien, kuluttajien ja yritysten valmistautuessa itseohjautuvien autojen tulemiseen markkinoille. ADAS-järjestelmien markkinoille tuleminen on McKinseyn (2016) mukaan näyttänyt merkittävimpien haasteiden olevan hinnoittelu, kuluttajien ymmärrys tuotteesta sekä turvallisuuskysymykset. Saman raportin mukaan mikäli itseohjautuvat autot otetaan käyttöön hyvin progressiivisella tavalla, voivat korkean automaatioasteen omaavat kulkuneuvot ottaa jopa 50 prosentin markkinaosuuden uusien autojen myynnistä vuonna 2030.

McKinseyn selvityksessä (2016) sähköautojen diffuusion arvioidaan kulkevan käsi kädessä itseohjautuvien autojen diffuusion kanssa. Diffuusionopeus tulee selvityksen mukaan olemaan nopein tiheästi asutuissa kaupungeissa, joissa taloudelliset kannustimet ja tiukat päästörajoitukset nopeuttavat diffuusioastetta. Pienissä kaupungeissa ja maaseudulla diffuusio tulee olemaan huomattavasti hitaampaa. Selvityksen johtopäätöksiä voidaan soveltaa Suomen tilanteeseen siten, että suurissa kaupungeissa itseohjautuvien autojen voidaan ennustaa leviävän kuluttajien keskuuteen huomattavasti nopeammin kuin maaseudulla, jossa kuluttajien tarpeet ovat yksilöllisemmät ja markkinakysyntä erilaisille kyytipalveluille siten huomattavasti matalampi. Esimerkiksi koulukyytien järjestäminen lapsille suuressa kaupungissa on itseohjautuvien bussien avulla huomattavasti helpompaa järjestää kuin pienessä maakunnassa, jossa välimatkat koulujen ja perheiden kotien välillä ovat suurempia ja vaihtelevampia.

Boston Consulting Groupin (jatkossa BCG) vuonna 2017 julkaistussa selvityksessä ”Autonomous Vehicle Adoption Study” arvioitiin itseohjautuvien autojen diffuusion olevan

hyvin nopeaa, koska innovaation yhteiskunnalliset ja taloudelliset hyödyt ovat niin mittavat. BCG:n ennusteen mukaan vuonna 2035 myydään globaalisti vuosittain noin 12 miljoonaa täysin itseohjautuvaa ja noin 18 miljoonaa osittain itseohjautuvaa autoa. Saman raportin mukaan vuonna 2035 itseohjautuvien autojen markkinaosuus uusien autojen myynnistä ennustetaan olevan noin 25 prosenttia.

Liu et al. (2016) tieteellisen artikkelin mukaan autojen käyttöaste on kehittyneissä talouksissa niin pieni, keskimäärin alle 10 prosenttia, että tulevaisuudessa jakamistaloudessa auton omistaminen ei enää kannata. Kun autoa ei enää omista, ei tarvitse maksaa autoveroja & -vakuutuksia ja itseohjautuvien autojen yleistyessä kustannukset laskevat niin merkittävästi, että auton jakamisesta ja/tai kyytipalveluista tulee huomattavasti halvempia vaihtoehtoja. Artikkelin mukaan tämä taloudellinen intressi tulee ajamaan valtaosan väestöstä käyttämään kyytipalveluita ja/tai jakamispalveluita, joissa erilliset kolmannet tahot kuten Uber ja Lyft omistavat autot ja keräävät käyttömaksuja palveluistaan.

4.3 Itseohjautuvan auton markkinoille tulo aikajana-analyysiin perusteella

Robottiautojen käyttöönottoa voidaan ennustaa aikaisempien ajoneuvojen teknologioiden käyttöönoton perusteella ja ajoneuvojen kiertonopeudella/vaihtuvuudella. Todd Litman vertaa tutkimuksessaan "Autonomous Vehicle Implementation Planning" (2015) ilmatyynyjen, automaattivaihteistojen, navigaatiosysteemien, gps-palveluiden ja hybridi-autojen markkinoiden käyttöönoton syklejä, kustannuksia ja millaisen markkinakypsyyden ne ovat saavuttaneet. Tutkimuksen tuloksia on summattu kuvassa 10.

Tuote	Käyttöönoton sykli	Tyypillinen hinta	Osuus markkinoista
Turvatyyny	25 vuotta (1973-98)	200 dollaria	100%, pakollinen
Automaattivaihteisto	50 vuotta (1940-90s)	1500 dollaria	90% USA, 50% maailmanlaajuisesti
Navigointilaitteet	30+ vuotta (1985-2015+)	500 dollaria, mutta nopeassa laskussa	Luultavasti yli 80%
Valinnainen GPS palvelut	15 vuotta	250 dollaria vuodessa	2-5%
Hybridiautot	25+ vuotta (1990s-2015+)	5000 dollaria	Noin 4%

Kuva 10. Innovaatioiden käyttöönotto, kustannukset & markkinaosuus. (Litman 2015.)

Useimmat uudet teknologiat vaativat vuosikymmenien teknistä kehittämistä ja markkina-kasvua kyllästääkseen niiden potentiaaliset markkinat ja monesti niistä ei koskaan tule maailmanlaajuisia. Turvatyynyjen lyhyt käyttöönoton sykli ja iso markkinaosuus johtuvat niiden laillisesta pakollisuudesta, sillä niiden tuoma ylimääräinen turvallisuus luo selvää arvoa yhteiskunnalle ja näin ollen teknologian käyttöönotto oli hyvin nopea. Itseohjautuvien autojen diffuusion kannalta niin yritysten kuin yhteiskunnankin tulee ottaa huomioon itseohjautuvien autojen tuoma turvallisuus – tämä on merkittävä ero verraten esimerkiksi automaattivaihteiston diffuusion. Automaattivaihteiston kehittyminen ja hinnanlasku vaati yli viisi vuosikymmentä eikä se vielä ole maailmanlaajuisesti ottanut dominoivaa markkina-asemaa manuaalivaihteistolta. Hybridiautoja kehitetään vielä 15 vuoden markkinoilla olon jälkeen ja ne ovat suhteellisen kalliita (tosin verokannustimilla niiden hintaa kuluttajille voidaan laskea) sekä niiden markkinaosuus on pienehkö. Tämä viittaisi siihen, että uudet autoteknologiat yleensä vaativat kahdesta viiteen vuosikymmenen siirtyäkseen kaupallisen saatavuuden tasolta huomattavaan markkinaosuuteen, eikä niistä tule maailmanlaajuisia ilman valtiollisia tai ylivaltiollisia määräyksiä/direktiivejä.

Modernit autot ovat kestäviä, mistä seuraa niiden hidas kiertonopeus. Tämän seurauksena uudet autoteknologiat normaalisti tarvitsevat noin kolmesta viiteen vuosikymmenen aikaa tullakseen käyttöön yli 90 prosentissa autoista. Tämän lisäksi kuluttaja joutuu mahdollisesti maksamaan itseohjautuvuuden mahdollistavista ominaisuuksista tuhansien eurojen lisähintaa normaaliautoon verrattuna, mikä saa nykytilanteessa monet ku-

luttajat harkitsemaan onko siitä saatava hyöty lisäkustannuksen arvoista. Kuluttajien halukkuutta maksaa itseohjautuvuuden mahdollistamista toiminnoista on kuvattu myöhemmin kappaleessa 5.4 kuvalla 14.

Seuraavassa taulukossa on vedetty yhteen itseohjautuvien autojen käyttöönoton projektiio (kuva 11). Oletuksena on, että autonomiset autot (SAE taso 4) ovat tulleet markkinoille myytäviksi ja laillisiksi ajaa julkisilla teillä 2020, mutta kuten muilla aiemmilla autoteknologioilla, ne eivät toimi alussa täydellisesti ja ovat huomattavan kalliita verraten muihin autoihin. Tämän seurauksena ne edustavat aluksi vain pientä osaa kokonaisautomyynnistä. Niiden kokonaismyynti ja markkinaosuus tulee kasvamaan ajan kanssa samalla kun niiden hinta laskee ja suorituskyky paranee. Tarkastelun kohdepopulaatio tässä tapauksessa on kehittyneet markkinat, jolloin ei käsitellä täysin globaalia diffuusiota. Seuraavat ennusteet ovat allekirjoittajan omia, jotka on tehty taustatutkimuksen avulla.








Taso	Vuosikymmen	Autojen myynti	Autoja liikenteessä	Autojen osuus matkoista
Saatavilla kalliilla lisä-hinnalla	2020-2030	2-5%	1-2%	1-4%
Saatavilla kohtuulliseen lisä-hintaan	2031-2040	20-40%	10-20%	10-30%
Saatavilla pieneen lisä-hintaan	2041-2050	40-60%	20-40%	30-50%
Standardi ominaisuus uusissa autoissa	2051-2060	80-100%	40-60%	50-80%
Kylläisyys (kaikilla halukkailla on)	2061-2070	100%	50-90%	75-95%
Pakollinen kaikille käytössä oleville autoille	2071-2090	100%	100%	100%

Kuva 11. Itseohjautuvien autojen myynnin ja käyttöönoton ennusteita kehittyneillä markkinoilla.

4.4 Yhteenveto

Itseohjautuvat autot tulevat yleistymään globaalissa maailmassa nopeasti, yritysten oma käsitys diffuusion nopeudesta on harvinaisen nopea – todennäköisesti todellisuudessa

diffuusioon menee pidempään. Kuvassa 12 on koottu yhteen autovalmistajien ja teknologiayritysten tavoitteista tuoda itseohjautuvat autot kuluttajille yleisen liikenteen joukkoon.

	Yritys	Julkilausuttu tavoite	Ilmoittaja, lähde & päivämäärä	Vuosi
Teknologiayritykset		Itseohjautuvat autot saatavilla kuluttajille loppuvuodesta 2018, Google toimii teknologiapartnerina, ei autovalmistajana	Sergey Brin, Driverless car market watch, 2.10.2012	2018
		Kaikki Uberin operoimat autot itseohjautuvia vuoteen 2030 mennessä → auton omistaminen ei enää houkutteleva vaihtoehto normaalille kuluttajalle	Ex-TJ Travis Kalanick, Mobility Lab, 18.8.2015	2030
		Kyytipalvelun autot suurimmaksi osaksi itseohjautuvia 2021 → auton omistamisesta turhaa	Perustaja John Zimmer, Bloomberg, 18.9.2016	2021
		SAE tason 4 mahdollistava järjestelmä sensoreineen ja sovelluksineen markkinoille vuonna 2018	Danny Shapiro, NVIDIA:n kotisivu, 16.3.2017	2018
Autovalmistajat		Tason 5 (SAE) itseohjautuvat autot tuotannossa vuonna 2019, testiajo Los Angeles-New York Autopilotilla vuonna 2017	Toimitusjohtaja Elon Musk, The Drive, 2.5.2017	2019, (2017)
		Tuoda markkinoille täysin itseohjautuva iNext vuonna 2021	TJ Harald Krueger, Electrek, 12.5.2016	2021
		Tason 4 (SAE) itseohjautuva auto myyntiin vuonna 2020	Tuntematon, The Verge, 11.7.2017	2020
		Itseohjautuvat autot (useita malleja) markkinoille vuonna 2020	TJ Carlos Ghosn, Forbes 14.1.2013	2020

Kuva 12. Autovalmistajien ja teknologiayritysten tavoitteita itseohjautuvien autojen osalta.

Auto- ja teknologiayritykset antavat selkeän kuvan siitä, että ne ovat valmiita valmistamaan itseohjautuvia autoja hyvin nopealla aikataululla. Konseptin voidaan arvioida olevan kohtalaisella kypsyysasteella nykyään, mutta saavuttaakseen laajamittaisen diffuusion kehittyneiden ja kehittyvien markkinoiden talouksissa vaaditaan vielä merkittävästi näyttöjä parantuneesta turvallisuudesta ja tehokkuudesta. Luotettavuuden ja käytövarmuuden tulee olla hyvin korkealla tasolla, jotta itseohjautuvat autot voivat saavuttaa merkittävän markkinaosuuden uusien autojen myynnistä.

Itseohjautuvien autojen innovaatiojärjestelmä on hyvin laaja, sillä innovaatio koskee erittäin laajasti yhteiskunnan eri toimijoita kuten kysynnän ja tarjonnan puolesta yrityksiä sekä kuluttajia, että julkisvallan kannalta lainsäätäjiä, valtioita ja yliopistoja. Innovaation diffuusiolla voi olla merkittäviä seurauksia, joita ei vielä osata ennustaa tai nähdä ennalta.

Yllättävät tapahtumat, niin positiiviset kuin negatiivisetkin, voivat aiheuttaa myös yllättäviä seurauksia, mihin yhteiskunta ei ole osannut varautua.

Aikajana-analyysin perusteella oletetaan, että itseohjautuvat autot hallitsevat (yli 50 prosenttia) uusien autojen myyntiä vuosina 2043-2047 ja tulevat muodostamaan yli 50 prosenttia liikenteessä olevista autoista vuosien 2057 ja 2064 välillä. Ennusteen mukaan tieliikennejärjestelmä tulee globaalisti olemaan täysin automoitu vuosikymmenien 2070 ja 2090 välillä. Ennusteet perustuvat historialliseen informaatioon muiden autoalan innovaatioiden diffuusiosta ja itsenäisten konsulttiyritysten selvityksiin samalla ottaen huomioon itseohjautuvien autojen disruptiivisen luonteen verrattuna esimerkiksi automaattivaihteistoon innovaationa. Kaikkiin ennusteisiin, myös allekirjoittaneen omiin, tulee suhtautua skeptisesti, sillä tulevaisuuden ennustaminen tarkasti on lähes mahdotonta ja tästä syystä ennusteen vuosiluvut on esitetty suurien vuosivälien avulla tarkkojen vuosilukujen sijaan.

5 Muita itseohjautuvan autokonseptin kaupalliseen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä

Intelin (Lynch, 2017) rahoittaman tutkimuksen mukaan itseohjautuvien autojen yleistymisen myötä muodostuva kuljettajattomien kulkuneuvojen markkinakoko dollareissa mitattuna vuonna 2050 olisi 7 000 miljardia dollaria. Tästä markkinasta 98 prosenttia muodostuisi yritysten välisistä (43%) kuljetuspalveluista ja yritysten kuluttajille tarjoamista (55%) kuljetuspalveluista. Tämän tutkimuksen mukaan tulevaisuudessa automyynti keskittyy yksittäisten kuluttajien sijaan kyytipalveluihin ja autonjakamispalveluihin. Intelin markkina-aseman myötä se kykenee taloudellisesti hyötymään (sirumyynti, sirukehitys) itseohjautuvien autojen nopeasta diffuusiosta, minkä vuoksi tähän ennusteeseen tulisi suhtautua varovasti.

5.1 Teknologinen valmius

Tässä kappaleessa käsitellään teknologista valmiutta valmistaa ja ottaa käyttöön tiilikenteessä itseohjautuvia autoja. Ensiksi pohditaan tilannetta Suomen kannalta, minkä jälkeen siirrytään kansainväliseen tarkasteluun. Merkittävä osa itseohjautuvien autojen mahdollistavasta teknologiasta on yritysten patenttisuojaamaa, minkä vuoksi ajankoh- taista ja realistista käsitystä teknologian valmiusasteesta on hankalaa muodostaa.

On selviö, että Suomessa vallitsevat erityisolosuhteet hankaloittavat automaattista ajamista. Teiden liukkaus on suuri ongelma, sillä automaattisten autojen tekniikassa on hankalaa ottaa huomioon sitä, että tien pinnan kitka voi olla lähellä nollaa, etenkin kun tien liukkauden reaaliaikainen mitta-ajoneuvossa on osoittautunut hyvin haastavaksi. Märällä tai jäisellä tiellä jarrutus on aloitettava paljon aikaisemmin kuin kesäkelillä. Tiedon liukkaasta risteyksestä pitäisi tulla osittain taustajärjestelmistä, sillä sen pitää olla käytettävissä ennen kuin kitka pienenee renkaiden alla. Talvisäällä tiemerkinnot ja liikenne-merkit ovat myös osin tai kokonaan näkymättömissä, jolloin tiedon täytyy tulla päivän tasalla olevasta järjestelmästä. Liikennejärjestelmää ja –infrastruktuuria käsitellään enemmän kappaleessa 5.2. Automaattiajaminen rajoittunee oletettavasti aluksi Suomessa pääosin kesäkuukausiin. Tason 5 autonomisten ajoneuvojen kaupallistumista ja ilmestymistä liikenteeseen joudutaan Suomessa odottamaan vielä pitkään. Toisaalta automaattisia ja autonomisia ajoneuvojen ei voida kehittää ainoastaan laboratoriossa, joten kokeiluja tieliikenteessä tarvitaan.

Auto-alan teknologian ja valmistuksen valmiustasolle on tehty laaja, 10-portainen taulukko, mihin teknologiaa vertaamalla voidaan sanoa, kuinka pitkällä teknologia on valmiuden ja valmistuksen osa-alueilla. Taulukko kuvailee kymmenen kypsyyden tasoa tuotteelle tai teknologialle ja vastaa kysymyksiin: tekeekö se mitä sen pitää (technology readiness), valmius valmistukseen (manufacturing readiness). Taulukon ovat luoneet Roy Williamson ja Jon Beasley (2011).

Tason 4 itseohjautuvan auton voidaan sanoa osuvan teknologian valmiustasolle 7, joka on määriteltä seuraavasti:

- Useita prototyypppejä on demonstroitu toiminnassa, liikenneympäristössä
- Teknologia suoriutuu, kuten vaaditaan
- Rajoitustestaukset ja lopulliset suoritusarvot on määriteltä
- Teknologia on sopiva osaksi erityisiä ajoneuvon alustan kehittämisen ohjelmia

Teknologian valmius menee yleensä valmistuksen valmiutta edellä. Myös itseohjautuvan autokonseptin kohdalla voidaan sanoa, että valmistuksen valmius osuu kohtaan 5, joka on määriteltä seuraavasti:

- Valmius tuottaa prototyypppejä
- Kriittiset teknologiat ja komponentit on tunnistettu

- Prototyypin materiaalit, työkalut ja testaus on demonstroitu komponenttien kanssa valmistuksen ympäristössä
- FMEA ja DFMA on haettu



Kuva 13. Audi Aicon –auton sisusta Frankfurtin autonäyttelyssä (Kainulainen, 2017).

Mikäli itseohjautuvat autot saavuttavat SAE tason 5 automaation, ei tulevaisuudessa esimerkiksi ratille ja polkimille ole enää tarvetta. Tämä toisi autoon joko huomattavasti lisää tavaraa- tai työtilaa kuten työpöydän tai vaihtoehtoisesti autoista voitaisiin tehdä entistä pienempiä ja säästää materiaalikuluissa. Audi esitteli Frankfurtin autonäyttelyssä vuonna 2017 konseptimallina Aicon-auton (kuva 13), jossa polkimia ja rattia ei enää ole autossa. Kainulaisen (2017) mukaan Aicon on vielä hyvin kaukana realistisesta autosta ja arvioi auton olevan todellisessa tuotannossa 15-20 vuoden sisällä.

5.2 Liikennejärjestelmän ja infrastruktuurin valmius

Tulevaisuuden liikennejärjestelmä muodostuu liikenne- ja viestintäverkkojen, palveluiden ja tiedon yhdessä muodostamasta toimivasta kokonaisuudesta. Liikenneinfrastruktuuri muodostaa alustan, jossa tieto ja älykkäät järjestelmät kohtaavat sekä toimivat. Kuluttajat hankkivat liikkumispalvelunsa yhä etenevässä määrin mobiilisti, esimerkiksi Uber & Lyft palveluntarjoajan kautta. Liikenneinfrastruktuurin on kyettävä reagoimaan muutoksiin nopeasti ja tehokkaasti.

Infrastruktuurin suunnittelulla on suuri vaikutus automaation etenemisen nopeuteen. Rakentamisen ja kunnossapidon vaatimukset nousevat automaatiotason noustessa, tieympäristön ja mukana olevien tielläliikkujien perusteella. Tulevaisuuden liikennejärjestelmässä tieto ja älykkäät liikennepalvelut tarvitsevat alustakseen modernin ja toimivan liikenneinfrastruktuurin. On merkittävä yhteiskunnallinen kysymys, kuka rakentaa, kustantaa ja ylläpitää tätä infrastruktuuria (julkinen/yksityinen/yhteistyö).

Page ja Krayem (2017) kuvaavat artikkelissaan itseohjautuvien autojen käyttöönoton haasteita. Kommunikaatio kulkuneuvojen välillä (V2V) ja kulkuneuvojen ja infrastruktuurin välillä (V2I) on välttämätöntä, mikäli koko liikennesysteemi halutaan toimivaksi itseohjautuvien autojen avulla. Teknologian tulee myös kommunikoida ihmisen kanssa, mikäli tilanne vaatii ihmisen ohjausta (SAE tason 4 automaatio). Yhtenä ongelmakohtana on verkkoon kytkemättömien kulkuneuvojen huomioiminen, toisin sanoen vanhojen autojen huomioiminen liikennejärjestelmässä. On vain ajan kysymys, milloin teknologian omistajaa tai itseohjautuvan auton valmistajaa syytetään oikeusistuimessa kulkuneuvon epäonnistumisesta liikenteessä ja siitä seuraavista materiaali- ja henkilövahingoista. Kuluttajat, autovalmistajat, liikenneoperaattorit ja vakuutusyhtiöt joutuvat tekemään läheistä yhteistyötä, jotta koko liikennejärjestelmä palvelee kaikkia osapuolia. (Page & Krayem, 2017.)

Ajoneuvojen automaatiotason ja älykkyyden lisääntyessä digitaalisen liikenneinfrastruktuurin merkitys lisääntyy. Yksityiskohtaiset ja moniulotteiset kartat sekä tarkat paikkatiedot mukaan lukien tiedot teistä, liikennemerkeistä ja opasteista, hyväkuntoiset ja näkyvissä olevat tiemerkinnot ja liikennemerkit, laadukas ajantasainen tieto tie- ja liikenneolosuhteista sekä ennen kaikkea korkealaatuinen väyläinfrastruktuuri ja siihen integroidut laitteet, kuten esimerkiksi erilaiset anturit ja sensorit tulevat olemaan edellytyksiä korkean tason automaatioajamiselle.

Bagloee et al. (2016) tutkivat itseohjautuvien autojen haasteita ja mahdollisuuksia. Tutkimuksen mukaan yksi suurimmista haasteista on liittää älykkäät ajoneuvot toisiinsa ja infrastruktuuriin, mikä tuo esiin Big Datan (valtavan datamäärän tässä tapauksessa esimerkiksi tieverkoista ja liikenteestä) soveltamisen käytäntöön. Lisäksi ohjelmistojen ja verkkoyhteyksien turvallisuus ja käyttövarmuus nostettiin esiin, sillä hakkerointi tai erilaiset bugit voisivat itseohjautuvassa järjestelmässä aikaansaada ennennäkemätöntä tuhoa esimerkiksi suuronnettomuuksien muodossa. Viimeisenä Bagloee et al. (2016) toivat esiin infrastruktuuria ja liikennejärjestelmää koskevien kansainvälisten standardien

tarpeen, sillä autoilla liikutaan aktiivisesti yli eri maiden rajojen – lainsäädäntöä käsitellään seuraavassa kappaleessa.

5.3 Lainsäädäntö ja valtiotason päätökset

Suomalainen oikeusprosessi perustuu pitkälti Wienin tieliikennesopimukseen vuodelta 1968, joka edellyttää, että liikkuvalla ajoneuvolla on kuljettaja, joka pystyy jokaisena hetkenä hallitsemaan ajoneuvoa. Toinen EU:n tasolla voimassa oleva laki kieltää itseohjautuvia kulkuneuvoja ajamasta yli 12km/h, ellei kyse ole valvotusta testistä. Suomen tieliikennelain ja liikenneturvallisuusvirasto Trafin mukaan robottiautot ovat tervetulleita Suomen teille jo nyt. Trafi on linjannut, ettei ajoneuvon kuljettajan tarvitse olla fyysisesti edes ajoneuvon sisällä, vaan riittää, että hänellä on täysi kontrolli ajoneuvoon.

Valtiolla ja kunnilla on iso rooli ja panos automaation etenemisessä liikennejärjestelmässä. Mitä nopeammin lait säädetään itseohjautuvien autojen sallimiseksi, sitä nopeammin ne tulevat yleistymään. Lisäksi valtio panostaa automaatioon esimerkiksi julkista liikennettä automatisoimalla, esimerkiksi linja-autojen automatisoinnilla. Yksi tärkeistä päätöksistä, jossa valtiolla on suuri vaikutusvalta, on älykkään tieliikenneverkon omistusta ja ylläpitokysymykset. Älykkääseen, automatisoituun liikenteeseen liittyvien ohjelmistojen, tietopankkien ja ohjelmistojen rakentaminen ja ylläpito voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla. Vaihtoehdot ovat julkisen ja yksityisten toimijoiden yhteenliittymä ('PPP', public-private partnership), täysin julkinen rahoitus tai täysin yksityinen rahoitus. Suomessa valtion rooli on perinteisesti ollut aktiivinen ja tässä tutkimuksessa oletetaan, että PPP olisi todennäköisin vaihtoehto toteutukselle.

Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM, 2015) selvityksessä "Robotit maalla, meressä ja ilmassa" todetaan, että SAE tason 3 automaatiokulkuneuvojen mahdollistavat toimenpiteet tulee selvittää ripeästi ja mahdollisuuksien mukaan ennakoivasti. Selvityksen mukaan Suomella on edellytykset olla kehityksen kärkimaa automatisoidun liikenteen parissa ja LVM:n tavoitteiksi on paperissa esitetty saada aikaiseksi salliva sääntelykehikko, joka houkuttelisi automatisoidun liikenteen toimijoita Suomeen. Tämänkaltaisten tavoitteiden saavuttaminen vaatii lainsäätäjiltä merkittäviä panostuksia lainsäädännön ohella mahdollisesti taloudellisten kannusteiden kuten investointitukien avulla.

Liikenne ja viestintäministeriön teettämässä tutkimuksessa ”Parempia väyliä – sujuvampaa liikennettä, Selvitys liikenneverkon kehittamisestä liiketaloudellisesti: Liikenneverkoyhtiö (Kuukasjärvi et al., 2017)” on mainittu liikenteen digitalisaatio, automaatio ja liikenneinfrastruktuurin merkitys tarpeena liikenneverkon liiketaloudelliselle hallinnalle. Automatisaatiota tukevan infrastruktuurin suunnittelu on tärkeää erityisesti kaupunkialueilla, missä liikenteen automatisaatio tulee etenemään haja-asutusalueita nopeammin.

Suomen autokanta on Euroopan unionin vanhimpia. Vuonna 2015 Manner-Suomen rekisterissä olevien henkilöautojen keski-ikä oli 13,9 vuotta. Tutkimuksen kohdassa jatko-toimenpiteitä liikenneverkoston yhtiöittämiseen liittyen on mainittu autokannan uusiutumisen tukeminen. Tutkimuksessa todetaan: ”Erikseen päätettävällä tavalla voidaan suunnata julkista tukea uusien autojen hankintaan tai vastaavin tuin voidaan edesauttaa autokannan uusiutumista energia- ja ilmastostrategian periaatteiden mukaisesti. Asiaa valmistellaan yhdessä alan toimijoiden ja valtiovarainministeriön kanssa kevään 2017 kehysriihen mennessä.” (Kuukasjärvi et al., 2017)

Yhdysvalloissa on Shepardonin (2017) mukaan aloitettu valmistelemaan lakia itseohjautuvien autojen diffuusionopeuden kiihdyttämiseksi. Kongressin alahuoneen yksimielisesti hyväksymän lakialoitteen tavoitteena on nopeuttaa itseohjautuvien autojen käyttöönottoa ja estää yksittäisiä osavaltioita kieltämästä itseohjautuvia autoja osavaltiollisten lakien avulla. Shepardonin artikkelissa Yhdysvaltain liikenneministeriön sihtööri Elaine Chao ilmaisi huolensa itseohjautuvien autojen vaikutuksesta työpaikkoihin ja tämä huoli näkyi myös hyväksytyssä lakialoitteessa, sillä sen ulkopuolelle suljettiin yli 4 500 kg:n painoiset ajoneuvot eli suurikokoiset rekat ja ajoneuvoyhdistelmät. Lakialoitteen mukaan autovalmistajille annetaan oikeus tuottaa käyttöön 25 000 itseohjautuvaa autoa autovalmistajaa kohden, mitkä eivät täytä kaikkia nykyisiä turvallisuusmääräyksiä ensimmäisenä vuonna. Kasvu mahdollistetaan antamalla lupa tuottaa käyttöön yhteensä 100 000 itseohjautuvaa autoa neljän vuoden aikavälillä. Artikkelissa kerrotaan kuljetusalan liiton Teamsters:n ajaneen vahvasti rekkakuskien työpaikkojen säilyttämistä, minkä myötä rekat jätettiin lakialoitteen ulkopuolelle. Tämänkaltaiset työpoliittiset seikat tulevat varmasti vaikuttamaan tulevaisuudessakin lainsäädännön kehitykseen ja kansalaisten mielipiteeseen itseohjautuvista autoista.

Kansainvälisellä tasolla Iso-Britannia ja Ranska ovat Bloombergin artikkelin ”China to Ban Sale of Fossil Fuel Cars in Electric Vehicle Push” (2017) mukaan ilmoittaneet ai-keistaan kieltää diesel- ja bensiinikäyttöiset autot vähentääkseen kasvihuonepäästöjään

innostaen mukaan myös Kiinan. Kiinan teollisuus- ja informaatioteknologian varaministeri Xin Guobin ilmoitti hallituksen tekevän töitä saadakseen valmiiksi suunnitelman poltomootoriautojen tuotannon ja myynnin kieltämiseksi. Kasvihuonepäästöjen aikaansaamat terveyshaitat ovat näin ajaneet hallituksia suosimaan sähköautoja, ja tämä mahdollistaa myös entistä suuremman automaatiotason, sillä sähköautojen vaatima teknologia esimerkiksi langattoman kommunikaation osalta luo synergiaa itseohjautuvan autokonseptin kanssa. Tämä globaali trendi lainsäädännön osalta voi nopeuttaa huomattavasti niin sähkö- kuin itseohjautuvienkin autojen diffuusiota markkinoilla.

Itseohjautuvien autojen osalta herää tyypillisesti kysymys järjestelmän moraalista: kenen henkeä järjestelmä priorisoi, kun se päättää ajaako ihmisen päälle pelastaen kuskin hengen vai vaihtoehtoisesti väistää ihmistä maksaen kuskin hengen. Samasta aiheesta on muodostettu vuonna 1967 Trolleyn ongelma – pelastaako lapsijoukko vai auton kuski, kun päätös on pakko tehdä. Taylor (2016) kertoo artikkelissaan Mercedes-Benzin itseohjautuvan järjestelmän (SAE tasot 4 ja 5) tulevaisuudessa priorisoivan aina auton kyydissä olevat matkustajat jalankulkijoiden yli. Lainsäätäjät eivät ole vielä ottaneet kantaa Trolleyn ongelmaan. Sen ratkaiseminen on yksi oleellisista eettisistä kysymyksistä itseohjautuvien autojen yleistyessä liikenteessä.

5.4 Kuluttajien mielipiteet, hyväksyntä ja aikomus käyttää itseohjautuvia autoja

Tässä luvussa tarkastellaan neljää kuluttajaan liittyvää kokonaisuutta, jotka ovat kuljettajien mielipiteet, automaattiajamisen hyväksyntä, käyttöliittymät ja tietoisuus automaattiajamisesta.

Mielipiteillä tarkoitetaan tässä kuljettajien yleistä suhtautumista automaattiajamiseen. Schoettle ja Sivak (2014) selvittivät kyselytutkimuksella kuljettajien mielipiteitä kuudessa maanosassa. Suurin osa vastaajista suhtautui yleisesti positiivisesti automaattiajamiseen, esim. Isossa Britanniassa 66,6 prosenttia. Kysyttäessä (Schoettle ja Sivak 2014) kuinka huolestuneita kuljettajat olisivat ajamisesta tai kyydissä olosta automaatiotason 4 (SAE) autossa, erittäin huolestuneiden osuus oli 26 prosenttia. Kuljettajia vaikutti huolestuttavan kontrollista luopuminen.

Schoettle ja Sivak (2014) esittivät kuljettajille listan mahdollisista huolenaiheista tason 4 automaattiajamiseen liittyen ja kysyivät huolestuneiden määrää neliportaisella asteikolla

(ei lainkaan huolestunut, hieman huolestunut, kohtalaisesti huolestunut, erittäin huolestunut). Iso-Britannian aineistosta kohtalaisesti ja erittäin huolestuneiden yhteenlasketut prosentit huolestuttavuudeltaan asettuvat seuraavasti:

- turvallisuusseuraamukset järjestelmävirheen takia (81,6 %)
- kuljettajan / omistajan laillinen vastuu (72,5 %)
- itseohjautuvan auton erehtyminen odottamattomassa tilanteessa (72,3 %)
- vuorovaikutus jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden kanssa (68,9 %)
- järjestelmän turvallisuus (hakkereilta) (67,1 %)
- vuorovaikutus ei-itseohjautuvien ajoneuvojen kanssa (67 %)
- ajoneuvon turvallisuus (hakkereilta) (66,4 %)
- datan yksityisyys (paikan ja määränpään jäljitys) (61,7 %)
- itseohjautuvat autot eivät aja yhtä hyvin kuin ihminen (61,5 %)
- järjestelmän toimiminen huonossa säässä (55,4 %)
- oppiminen ajamaan itseohjautuvaa ajoneuvoa (48,4 %)

Suomessa järjestelmän toimiminen huonossa säässä voidaan olettaa hieman Iso-Britannian vastaavaa suuremmaksi huolenaiheeksi, mutta muuten tulokset edustanevat kohtalaisesti suomalaisia vastaajia. Kuljettajille esitettiin myös kysymyksiä automaattiajamisen skenaarioista kuten ajaminen kulkuneuvolla, joissa ei ole lainkaan kontrolleja ihmiselle, tai itseohjautuvat suuret rekat liikenteessä. Enemmistö (51,8 % ja 51,7 %) brittikuljettajista ilmaisi olevansa erittäin huolestuneita edellä mainituista skenaarioista.

Minkä tahansa teknisen järjestelmän hyödyt saavutetaan vasta niiden käytön avulla. Yleisen mielipiteiden ja järjestelmän yleisen hyväksyttävyyden tai järjestelmästä pitämi-

sen lisäksi on järjestelmän yleistymisen kannalta tärkeää, arvioiko kuljettaja järjestelmän tuomat hyödyt niin merkittäviksi (ja haitat suhteessa pieniksi), että aikoo käyttää järjestelmää.

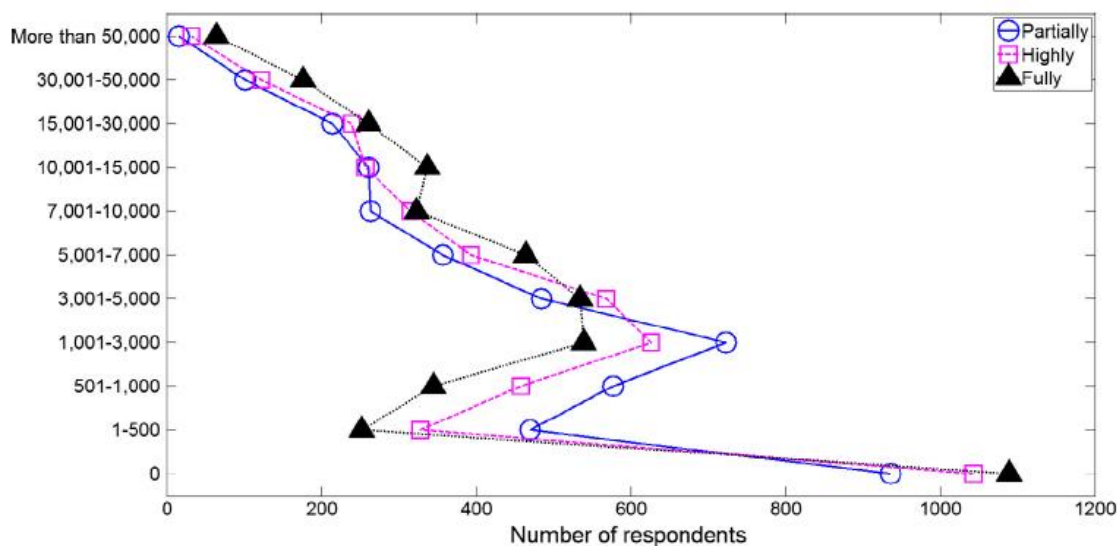
Schoettle ja Sivak (2014) selvittivät kuljettajien arviota saavutettavista hyödyistä täysin automaattisessa ajamisessa, jossa ajoneuvo kontrolloi kaikki turvallisuuskriittiset toiminnot koko matkan ajan. Brittikuljettajien arviot olivat seuraavat:

- erittäin tai melko todennäköistä, että onnettomuuksia olisi vähemmän (71,1 %)
- onnettomuudet olisivat lievempiä (72,7 %)
- onnettomuuksiin reagoitaisiin nopeammin (60,2 %)
- päästöjä olisi vähemmän (67,2 %)
- ajo olisi taloudellisempaa (75,9 %)
- vakuutusmaksut olisivat pienemmät (58,2 %)

Aikomusta käyttää automaattiajoneuvoa voidaan selvittää myös kysymällä, hankkisiko automaattiauton ja olisiko valmis maksamaan siitä. Iso-Britanniassa 36,6 prosenttia ei ollut lainkaan kiinnostuneita itseohjautuvan auton hankkimisesta, kun taas 18 prosenttia oli erittäin kiinnostuneita. Lähes 60 prosenttia brittivastaajista oli sitä mieltä, ettei olisi halukas maksamaan lisää saadakseen automaattiauton. (Schoettle & Sivak, 2014.)

Yhtenä sivuvaikutuksena itseohjautuvien autojen parantuneen turvallisuuden myötä tulee olemaan terveiden, nuorien elinluovuttajien määrän lasku. Nuoret riskikäyttäytyjät eivät välttämättä enää kuole kolareissa mahdollistaen nuorien ja terveiden elinten luovuttamista sairaille ihmisille, jos kolarit pystytään välttämään kokonaan tai niiden vakavuuden taso laskee huomattavasti. Tämä tuskin muodostaa merkittävää yleiseen mielipiteeseen vaikuttavaa tekijää, sillä kolareiden vakavuuden ja määrän lasku otetaan oletettavasti vastaan hyvin positiivisesti yhteiskunnassa.

Kyriakidis et al. (2015) suorittivat kyselytutkimuksen 5 000 henkilölle ja sen tuloksia esitetään seuraavaksi. Täysin itseohjautuva auto jakoi mielipiteitä vahvasti, osa ihmisistä ei halua käyttää teknologiaa ollenkaan ja osa on hyvin innokkaita käyttämään sitä. Osa vastaajista ei olisi valmis maksamaan avustavasta tai täysin itseohjautuvasta autosta ylimääristä, osa olisi valmiita maksamaan täysin itseohjautuvasta teknologiasta ja noin 5 prosenttia vastaajista olisi valmis maksamaan jopa 30 000 dollaria teknologiasta. Kaikista eniten autoa ajavat olivat valmiita maksamaan kaikista eniten teknologiasta. Kuva 14 havainnollistaa kuluttajien halukkuutta maksaa itseohjautuvasta autosta (osin, korkeasti tai täysin automatisoidut vaihtoehdot). Kuluttajien yleisimmät huolet olivat turvallisuus, mahdolliset väärinkäytökset (esim. hakkerointi) ja mahdolliset juridiset ongelmat.



Kuva 14. Kuluttajien halukkuus maksaa eri automaatiotasoista (Kyriakidis et al., 2015).

Konsulttiyritys Bain & Companyn selvityksessä Heider et al. (2017) suorittivat kyselytutkimuksen kuluttajien ajatuksista koskien itseohjautuvia autoja. He haastattelivat yli 4 000 henkilöä kahdeksassa eri maassa saaden merkittäviä tuloksia kuluttajien kokemista hyödyistä ja huolista. Viisi yleisintä itseohjautuvista autoista koettua hyötyä olivat turvallisuuden paraneminen, polttoainesäästöt, pienemmät vakuutuskustannukset, ajokokemuksen mukavuuden paraneminen sekä liikenteen ja ruuhkien väheneminen. Viisi yleisintä huolta olivat korkea hinta, teknologian pettäminen, järjestelmän epätäydellisyys, autojen hakkerointi sekä epäselvät vastuukysymykset. Kyselyyn vastanneista 50 prosenttia voisi kuvitella käyttävänsä täysin itseohjautuvaa autoa tietyissä tilanteissa nykypäivänä ja 65 prosenttia täysin itseohjautuvaa autoa parkkeerauksen ajan.

Lange (2016) kritisoi vahvasti Teslan toimia tuoda kuluttajien käyttöön keskeneräinen Autopilot-ominaisuus osana oman itseohjautuvan teknologian kehitystä. Lange kommentoi Teslan käyttävän asiakkaitaan ”koekaniineina” keskeneräisen teknologian kehitykseen ja kyseinen huoli on todellinen – on hyvä kysymys, onko asiakkaiden innokkuutta oikeudenmukaista hyödyntää teknologian kehittämiseen mahdollisesti vaarantaen asiakkaiden turvallisuus. Lange päättää artikkelinsa seuraavalla lauseella: ”Teslan taktiikka on ensin hypätä veteen ja katsoa vasta sitten, että hukummeko vai emme.”

Useat tekijät vaikuttavat itseohjautuvan auton leviämiseen markkinoilla. Kuvassa 15 on esitelty käsitekehys, yhteenvetomainen tiivistelmä teknisistä ja liiketaloudellisista tekijöistä. Nykytilan lisäksi käsitekehysten avulla arvioidaan tulevaisuuden haasteita, mahdollisia ratkaisuja niihin ja aikajännettä, jonka aikana haasteen oletetaan ratkeavan. Käsitekehysten kokoamisessa on käytetty kappaleen 4 ja 5 analyysyjä hyödyksi.

		Nykytila	Tulevaisuuden haasteet	Mahdollisia ratkaisuja	Aika-jänne
Tekninen näkökulma	Tuotanto	Tuotantokapasiteetti hyvä, jatkuva muutos kohti itseohjautuvuutta	Ohjelmistojen rooli kasvaa, in-house/out-house päätökset autojen & ohjelmistojen tuotannosta	Autoalan & teknologia-alan kumppanuudet, Tesla (all-in-house)	3-10v
	Ydinteknologiat	LIDAR, useita sensori-/tutkaohjelmistoja ja sovelluksia, datapankit kartoista	LIDAR, ohjelmistojen yhteensopivuus & integrointi infrastruktuurin kanssa	Teslan avoin patentti (lataus), standardointi pakollista monin osin	3-15v
	Infrastruktuuri	Lukuisia karttapalveluita, V2V ja V2I standardeja ei ole olemassa, kohtalaiset WiFi-yhteydet	Standardointi, eri ohjelmistojen keskustelu keskenään ja liikenneverkon kanssa	Autoalan ja teknologia-alan yhteiset standardit, lainsäädäntö	5-25v
	Testaus & turvallisuus	Julkaistut tilastot erinomaisia, tietojen julkisuus vähäistä	Kulkuneuvojen & infrastruktuurin kytkeminen toisiinsa & kommunikaatio, eettiset vastuukysymykset	Oikeusistuimien päätökset, PPP kytkennöistä ja kommunikaatiosta	5-25v
Liiketaloudellinen näkökulma	Hinta	Premium-hinnoittelu, hinnat laskussa, kysyntä kasvaa, valtiot tukevat sähköautoja toistaiseksi	Kuluttajien kiinnostus, vakuutusalan intressit, kilpailu ilman valtiotukia	Verotus- ja vakuutusikäytännöt, jatkuva teknologioiden kehittäminen, skaalaedut	5-35v
	Verotus & kannustimet	Itseohjautuville ei toistaiseksi annettu tukia/verohelpotuksia	Diffuusion edistäminen tuilla/veroratkaisuilla, infrastruktuurin hallinta/verotus/investoinnit	Kannustimet itseohjautuvuuteen & infran rakentamiseen & integrointiin	5-50v
	Väestön mielipide	Länsimaissa suopea suhtautuminen, vähäiset onnettomuudet	Turvallisuuden parantaminen & takaaminen, vastuukysymykset, etiikka, mahdolliset onnettomuudet & vaikutukset	Autovalmistajan/ohjelmistotoimittajan vastuu, valtion/liikenneyhtiöiden vastuu, lobbaus	15-25v
	Lainsäädäntö	Keskeneräisyys, vastuukysymykset ja etiikka	Inhimilliset & kaupalliset intressit ja lobbaus, kuka maksaa & kuka vakuuttaa, valtion rooli	Vakuutusyhtiöillä/valtioilla/teollisuudella uudet roolit&vastuut	20-50v

Kuva 15. Käsitekehys itseohjautuvan autokonseptin arviointiin.

6 Johtopäätökset

6.1 Yhteenveto

Itseohjautuvien autojen diffuusio tulee seuraamaan yksilöllistä S-funktiota Rogersin mallin mukaan. Merkittävä eksponentiaalinen kasvu itseohjautuvien autojen myynnissä ja käyttöönotossa tulee alkamaan lähivuosina, kun teknologia ja lainsäädäntö sen mahdollistavat. Nyt S-käyrällä ollaan vielä hyvin varhaisessa vaiheessa, sillä teknologia ei ole kehittynyt vielä mahdollistamaan SAE tason 4 ja/tai 5 itseohjautuvuutta. Autovalmistajien tuotanto tuskin tulee olemaan merkittävä rajoittava tekijä pitkällä aikavälillä itseohjautuvien autojen diffuusioon, sillä markkinatalouden kysynnän kasvaessa valmistajat tulevat reagoimaan nopeasti kasvattamalla tuotantoaan eli tarjontaa.

Itseohjautuvien autojen yleistyminen ja diffuusio kehittyneiltä markkinoilta kehittyville markkinoille tulee viemään vuosikymmeniä. Teknologiaa tulee kehittää erityisesti tieliikenneinfrastruktuurin ja autojen sekä infrastruktuurin välisen (V2I ja V2V) kommunikation mahdollistavan alustan osalta. Myös itseohjautuvan auton ohjausjärjestelmä vaatii kehitystä kohti SAE tason 4 ja 5 mahdollistavia järjestelmiä. Hyvin merkittäviä haasteita itseohjautuvien autojen yleistymiselle lähivuosikymmeninä tulevat aiheuttamaan lainsäädäntö sekä kuluttajien ja lainsäätäjien mielipiteet ja niihin vaikuttavat erilaiset tekijät, kuten tutkimukset, mielipidekirjoitukset ja kulttuuri.

Suurimpia hidasteita itseohjautuvien autojen yleistymisen tiellä ovat puutteellinen lainsäädäntö, autojen korkeat hinnat ja autokannan hidas uusiutuminen, joka vaikeuttaa itseohjautuvien autojen täysimääräistä hyödyntämistä liikenteessä. Itseohjautuvien autojen diffuusion alkuvaiheissa tulee varmasti tapahtumaan myös negatiivisia tapahtumia, kuten kuolonkolareita, jotka suuren mediahuomion myötä voivat vaikuttaa diffuusionopeuteen hetkellisesti hyvin merkittävästi. Siirtymäaika, jolloin liikennejärjestelmässä tulee olemaan sekä itseohjautuvia että tavallisia autoja, tulee kestämään useita vuosikymmeniä. Muutaman sukupolven jälkeen 2070-2090-luvulla itseohjautuvien autojen oletetaan ottavan liikenteen haltuun täysin, jolloin tavallisia autoja ei enää liikenteessä tavata.

Nopein diffuusio itseohjautuvien autojen osalta tullaan oletettavasti näkemään pienissä ja kehittyneissä kaupunkivaltioissa kuten Singaporessa, missä itseohjautuvat autot saatavat vallata koko liikenteen alle 40 vuodessa nykypäivästä lähtien. Suomessa innovaa-

tion diffuusion ennustetaan tapahtuvan globaaleja markkinoita nopeammin pienen asukasluvun, korkean teknologisen osaamisen ja omaksumishalukkuuden myötä mahdollisesti seuraavan 50-60 vuoden aikana. Globaalisti itseohjautuvien autojen ennustetaan täyttävän kehittyneet markkinat vuosien 2070 ja 2090 välillä syrjäyttäen kuljettajalliset autot täysin.

6.2 Miten varautua itseohjautuvien autojen tulemiseen

Muutosta voidaan verrata siihen, kun autot syrjäyttivät hevoset 1900-luvulla. Tuottavuus tulee kasvamaan ja näin ihmisten ostovoima myös kasvaa – kehitystä voisi verrata ihmisten lisääntyneen vapaa-ajan ja vähentyneen työajan kannalta esimerkiksi tiskikoneeseen. Muutos tulee olemaan hyvin merkittävä ja nettovaikutus yhteiskunnan hyvinvointiin on suuri ja positiivinen. Tästä huolimatta lukuisat sidosryhmät tulevat taistelemaan muutosta vastaan, sillä esimerkiksi kuljetusalan työntekijöillä on huomattavasti hävittävää ja vähän voitettavaa, kun itseohjautuvat autot mullistavat liikenteen täysin. Kokonaisuudessaan ihmisten hyvinvointi ja ostovoima tulevat kasvamaan, kun kuluttajat käyttävät entistä vähemmän aikaa työmatkoihin ja muihin matkoihin. Seuraavassa pohditaan merkittäviä sidosryhmiä ja sitä, miten ne voivat valmistautua tähän disruptiiviseen innovaatioon.

Ensimmäisenä itseohjautuvat autot tulevat muuttamaan logistiikkaa. Tekniikka vakioiteja yksittäin ja jonossa kulkevia rekoja varten on jo valmiina, ja niiden oletetaan tulevan teille jo ennen vuotta 2020. Esimerkiksi rekkakuskiin, ahtaajien, varastomiesten ja trukikuskien työt alkavat hiljalleen vähentyä ja pitkällä aikavälillä kadota itseohjautuvien laitteiden tehdessä työt kustannustehokkaammin. Kellon ympäri seitsemänä päivänä viikossa kulkevan rekan työvoimakustannukset ovat noin 200 000 euroa vuodessa Suomessa. Sivuvaikutuksena myös pääväylien varrella sijaitsevat yritykset kuten Suomessa ABC ja muut huoltoasemat kärsivät ja menettävät asiakkaita, kun rekkakuskeja ei enää ole asiakkaana.

Osa töistä katoaa, mutta uusiakin tulee tilalle. Esimerkiksi robottiajoneuvojen valvonta, huolto ja ylläpito ovat ihmisen vastuulla. Automekaanikon työnkuva tulee muuttumaan enemmän ohjelmiston ja automaatiojärjestelmän kanssa toimimiseksi. Teollisuudella,

joka tuottaa antureita, infrapunatutkia sekä ohjelmistoja ja palveluita robottiautoihin, on mahdollisuus suureen kasvuun ja kiipeämiseen jopa maailman huipulle.

Taksiyrittäjät kohtaavat uudenlaisen kilpailijan, kun vastaan asettuu kellon ympäri ajava väsymätön robottiauto. Taksiyrittäjillä on mahdollisuus ensimmäisten joukossa lähteä mukaan automatisaatioon hankkimalla käyttöönsä robottiautoja, tai luottaa vanhaan ja kilpailla tarjoamalla ihmisläheisempi palvelu-konsepti. Palveluita, jotka ovat hyvässä positiossa hyödyntämään itseohjautuvia autoja, tarjoavat muun muassa tänä päivänä Lyft ja Uber.

Robottiautot eivät aja ylinopeutta tai humalassa, joten poliisin työt liikenteenvalvonnassa vähentyvät, kun liikennetietojen valvonta vaatii entistä vähemmän resursseja. Samalla sakkotulojen voidaan ennustaa vähentyvän minimiin. Se, tarkoittaako tämä, että poliisilla jää enemmän resursseja muuhun lainvalvontaan, vai vähennetäänkö poliisien työpaikkojen määrää, jää valtioiden päätettäväksi.

Liikenteen automatisoitumien tarjoaa myös omat haasteensa infrastruktuurin suunnittelulle ja teiden kunnon ylläpidolle. Tässä valtion rooli tulee olemaan merkittävä, ja jää nähtäväksi tuleeko valtio, yksityiset yritykset vai näiden yhdistelmä ylläpitämään järjestelmää. Nykyisellään teitä rakennetaan ja ylläpidetään pääosin yksityisten yritysten toimesta ja nämä yritykset voivat hyödyntää uuden kehityksen palkkaamalla teknologia-alan ammattilaisia mukaan teiden kehitykseen ja ylläpitoon. Yksityisille firmoille ja valtioille merkittävää etua tulevat luomaan nuoret tietotekniikka-alan lahjakkuudet, jotka ovat vastuussa innovaation kehityksestä ja tulevan älykkään liikenneverkon ylläpidosta ja kehityksestä.

Koulutusohjelmissa tulee ottaa liikennejärjestelmän automaatio huomioon. Kuljettajia tullaan tarvitsemaan huomattavasti nykyistä vähemmän, sen sijaan robottiautomaatiikan ja -ohjelmoinnin parissa työntekijöitä tullaan tarvitsemaan entistä enemmän. Kehitys, valvonta ja järjestelmän ylläpitotehtävät tulevat luomaan runsaasti uusia työpaikkoja ja tarvetta tietotekniselle osaamiselle.

Toinen ala, joka tulee kokemaan suuren murroksen itseohjautuvien autojen johdosta, on vakuutusala. Nykyään kulkuneuvovakuutukset tuovat merkittävästi liikevaihtoa vakuutusyhtiöille ja mikäli onnettomuudet vähentyvät, tulevat vakuutusmaksut myös pienene-

mään. Näin ollen myös autokorjaamoiden liikevaihdot kolareiden osalta tulevat kutistumaan – toisaalta autojen ylläpito ja huolto voi muuttua enemmän tietotekniseen huoltoon ja jopa etähuoltoon, johon esimerkiksi Tesla pystyy nykyään ohjelmistopäivitysten ja bugikorjausten avulla.

Itseohjautuvien autojen kannalta hyvin merkittävä eettinen kysymys on, kuka ottaa vastuun mahdollisista henkilö- ja materiaalivahingoista onnettomuuden sattuessa. Tätä ei käsitelty tutkimuksessa, mutta se ansaitsee maininnan yhteenvedossa, sillä tämä tulee olemaan merkittävä tekijä itseohjautuvien autojen diffuusion kannalta. Lainsäätäjillä ja oikeusistuimilla on merkittävä rooli kehityksen sallimisessa, hidastamisessa tai kieltämisessä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa (kappale 5.3) on valmisteltu lakia, joka helpottaisi autovalmistajiin kohdistuvia turvallisuusmääräyksiä itseohjautuvien autojen osalta. Tästä voi seurata entistä nopeampi ja ketterämpi teknologian kehitys ja käyttöönotto, mutta negatiivisena seurauksena voi olla tieliikenteen hetkellinen heikentyminen. Mikäli kuluneuvo, joka ei täytä nykyisiä turvallisuusmääräyksiä, aiheuttaa suuren kolarin, on hyvä pohtia, kenelle vastuu lankeaa ja miten tapahtuma vaikuttaa tulevaisuuden kehitykseen ja lainsäädäntöön.

Taloudelliset kannustimet autovalmistajille ja palveluntarjoajille voivat nopeuttaa kehitystä merkittävästi. Mikäli valtio tai kunta haluaa olla kehityksen edelläkävijä, tulisi sen tarjota taloudellisia kannustimia kuten investointitukia uuden teknologian hankintaan. Tätä hyödynnetään jo lukuisissa paikoissa kuten esimerkiksi Suomessa, Norjassa ja Kalifornian osavaltiossa Yhdysvalloissa. Useat konsulttiselvitykset toteavat sähkö- ja itseohjautuvien autojen kehityksen ja diffuusion korreloivan keskenään, joten kannustimet sähköautojen käyttöönottoon voivat olla lyhyen aikavälin toimenpide, jolla vauhdittaa loppujen lopuksi itseohjautuvien autojen diffuusiota.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että kehitys tulee olemaan yhteiskunnan hyväksi. Yksittäiset sidosryhmät tulevat varmasti häviämään muutoksessa, esimerkiksi liikennealan työpaikkojen lukumäärä tulee laskemaan varmasti. Toisaalta myös moni sidosryhmä tulee voittamaan, ja on vaikea mitata, kuinka arvokasta yhteiskunnalle on se, että liikennekuolemien määrä vähenee merkittävästi. Yhteiskunnan jäsenet voivat hyötyä kehityksestä merkittävästi niin yksilöllisellä kuin kollektiivisella tasolla.

6.3 Oma arvio tutkimuksen onnistumisesta

Opinnäytetyön aihe oli minulle hyvin mielenkiintoinen ja tavoitteen asettaminen oli hyvin kunnianhimoinen. Tutkimuksen aloitettuani totesin, että informaatiota on kansainvälisesti saatavilla todella suuri määrä eikä Suomen markkinasta löydy lukuisia tutkimuksia ja/tai selvityksiä. Täten tavoitetta jouduttiin muuttamaan Suomen markkinan tarkastelusta globaalimpaan näkökulmaan, kuitenkin jättäen pois kehittyvät taloudet.

Tutkimuksen syvyys ja laajuus kasvoivat työn edetessä ennalta-arvaamattoman nopeasti ja työhön kului yllättävän paljon aikaa. Runsas taustatyö ja käytettävien menetelmien huolellinen ja harkittu valinta tuottivat tulosta. Henkilökohtaisesti uskon, että tutkimus onnistui paremmin kuin odotin ja olen tyytyväinen työn lopulliseen ulkonäköön ja sisältöön. Jotta työstä ei olisi tullut liian pitkä, jouduttiin tutkimuksen laajuutta rajaamaan (kuva 3) merkittävästi. Tutkimustyötä ja –kenttää riittäisi mahdollisesti jopa maisteritutkinnon lopputyön aiheeksi tulevaisuudessa.

Parasta tämän tutkimuksen suorittamisessa oli uuden oppiminen itseohjautuvien autojen nykytilasta ja tulevaisuudesta. Lukuisten tieteellisten ja kaupallisten artikkelien lukeminen auttoi muodostamaan kokonais kuvaa siitä, mitä tulevaisuus tuo tullessaan. Aiheen rajaaminen oli hankalaa, mutta olen tyytyväinen siihen kokonaisuuteen, jonka tutkimus loppujen lopuksi muodosti.

Lähteet

Abbugao, Martin. Driverless taxi firm eyes operations in 10 cities by 2020. Yahoo. 29.8.2016. Saatavilla: <https://www.yahoo.com/news/driverless-taxi-firm-eyes-operations-10-cities-2020-142503529.html>

Automotive Revolution, Perspective Towards 2030. McKinsey. Tutkimusraportti. Julkaistu tammikuussa 2016. Saatavilla: <http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/high%20tech/our%20insights/disruptive%20trends%20that%20will%20transform%20the%20auto%20industry/auto%202030%20report%20jan%202016.ashx>

Autonomous Cars: The Future Is Now. Morgan Stanley. Tutkimusraportti. 23.1.2015. Saatavilla: <https://www.morganstanley.com/articles/autonomous-cars-the-future-is-now>

Autonomous Vehicle Adoption Study. Boston Consulting Group. Tutkimusraportti. 2017. Saatavilla: <https://www.bcg.com/expertise/industries/automotive/autonomous-vehicle-adoption-study.aspx>

Bagloee, S.A., Tavana, M., Asadi, M., Oliver, T. Autonomous Vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. Journal of Modern Transportation. Joulukuu 2016. Vol. 24 (4), s. 284-303.

Bergen, M. & Newcomer, E. Uber to Suspend Autonomous Tests After Arizona Accident. Bloomberg. 25.3.2017. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-03-25/uber-autonomous-vehicle-gets-in-accident-in-tempe-arizona>

Bergen, Mark. Alphabet Inks Deal for Avis to Manage Self-Driving Car Fleet. Bloomberg. 26.6.2017. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-26/alphabet-inks-deal-for-avis-to-manage-self-driving-car-fleet>

Bigman, Dan. Driverless Cars Coming To Showrooms By 2020, Says Nissan CEO Carlos Ghosn. Forbes. 14.1.2013. Saatavilla: <https://www.forbes.com/sites/danbigman/2013/01/14/driverless-cars-coming-to-showrooms-by-2020-says-nissan-ceo-carlos-ghosn/#67d206971508>

Caddy, Becca. Toyota to launch first driverless car in 2020. Wired. 8.10.2015. Saatavilla: <http://www.wired.co.uk/article/toyota-highway-teammate-driverless-car-tokyo>

Chang, E. & Webb, A. Tim Cook Says Apple Focused on Autonomous Systems in Cars Push. Bloomberg. 13.6.2017. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-13/cook-says-apple-is-focusing-on-making-an-autonomous-car-system>

China to Ban Sale of Fossil Fuel Cars in Electric Vehicle Push. Bloomberg. 9.9.2017. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-09-09/china-to-ban-sale-of-fossil-fuel-cars-in-electric-vehicle-push>

Ciferri, Luca. Ford's Nair: Sensors, software are self-driving cars' main obstacles. Automotive News. 27.2.2016. Saatavilla: <http://www.autonews.com/article/20160227/OEM02/302299994/fords-nair-sensors-software-are-self-driving-cars-main-obstacles>

Federal Motor Vehicle Safety Standard 208. National Highway Traffic Safety Administration. Yhdysvallat. Saatavilla: <https://icsw.nhtsa.gov/cars/rules/import/FMVSS/#SN208>

Garun, Natt. Screendrive: 2017 Ford Fusion Energi is the First Car with Alexa. The Verge. 1.4.2017. Saatavilla: <https://www.theverge.com/2017/5/1/15438554/2017-ford-fusion-energi-alexa-sync3-review>

Gaudin, Sharon. Autonomous cars will arrive within 10 years, Intel CTO says. ComputerWorld. 22.10.2012. Saatavilla: <http://www.computerworld.com/article/2492744/emerging-technology/autonomous-cars-will-arrive-within-10-years--intel-cto-says.html>

Gaudin, Sharon. Google on new path, developing self-driving cars. ComputerWorld. 11.10.2010. Saatavilla: <http://www.computerworld.com/article/2516370/emerging-technology/google-on-new-path--developing-self-driving-cars.html>

Goddin, Paul. Uber's plan for self-driving cars is bigger than its taxi disruption. Mobility Lab. 18.8.2015. Uber self-driving cars Saatavilla: <http://mobilitylab.org/2015/08/18/ubers-plan-for-self-driving-cars-bigger-than-its-taxi-disruption/>

Golson, Jordan. Toyota's billion-dollar AI research center has a new self-driving car. The Verge. 3.3.2017. Saatavilla: <https://www.theverge.com/2017/3/3/14803734/toyota-research-institute-self-driving-car-lexus>

Hawkins, Andrew J. The new Audi A8 luxury sedan is a high-tech beast that can drive itself. The Verge. 11.7.2017. Saatavilla: <https://www.theverge.com/2017/7/11/15952510/audi-a8-level-3-autonomous-driving-self-parking>

Hawkins, Andrew J. Delphi and MobilEye are teaming up to build a self-driving system by 2019. The Verge. 23.8.2016. Saatavilla:

<https://www.theverge.com/2016/8/23/12603624/delphi-mobileye-self-driving-autonomous-car-2019>

Hawkins, Andrew J. Cadillac takes aim at Tesla's Autopilot with 'hands-free' Super Cruise technology, available this fall. The Verge. 10.4.2017. Saatavilla: <https://www.theverge.com/2017/4/10/15224516/cadillac-super-cruise-hands-free-ct6-tesla-autopilot>

Hawley, Jonathan. Jaguar joins the race to driverless cars. Drive. 2.10.2014. Saatavilla: <http://www.drive.com.au/motor-news/jaguar-joins-the-race-to-driverless-cars-20141003-10ply7.html>

Heider, H.J., Schallehn, M., Schlegel, C. & Stricker, K. An Autonomous Car Roadmap for Suppliers. Bain & Company. Tutkimusraportti. 2017. Saatavilla: <http://www.bain.com/publications/articles/an-autonomous-car-roadmap-for-suppliers.aspx>

Hekkert M., Negro S., Heimeriks G. & Harmsen R. Technological Innovation System Analysis: A manual for analysts. 11/2011. Saatavilla: http://www.innovation-system.net/wp-content/uploads/2013/03/UU_02rapport_Technological_Innovation_System_Analysis.pdf

Hull, Dana. The Tesla Advantage: 1.3 Billion Miles of Data. Bloomberg. 20.12.2016. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-12-20/the-tesla-advantage-1-3-billion-miles-of-data>

Innanmaa S., Kanner H., Rämä P. & Virtanen. A. Automaation lisääntymisen vaikutukset liikenteessä. Trafin tutkimuksia. 01/2015. Saatavilla: https://www.trafi.fi/filebank/a/1461576365/fdb4c6b311fb1da01cf40bdf8fd33b5c/20473-Trafi_tutkimuksia_01-2015_-_Automaattiajaminen.pdf

Ismail, Z. & Abu, N. New car demand modelling and forecasting using bass diffusion model. American Journal of Applied Sciences. Volume 10 (6). 2013. s.536-541.

Kainulainen, Jari. Audi yllätti: otti jo ratin ja polkimet pois autosta. Kauppalehti. 12.9.2017. Saatavilla: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/audi-yllatti-otti-jo-ratin-ja-polkimet-pois-autosta/ZxAgusQE>

Kuukasjärvi K., Nyberg, M., Paasilehto, A., Perälä, H., Rantala O-P., Ristola, J., Similä, A., Takala, P., Thorström, E., Vilkkonen, L. Parempia väyliä – sujuvampaa liikennettä. Selvitys liikenneverkon kehittämisestä liiketaloudellisesti: Liikenneverkko-yhtiö. Liikenne- ja viestintäministeriö. 19.1.2017.

Krisher, Tom. Exec: Most Lyft Rides Will Be in Autonomous Cars in 5 Years. Bloomberg. 18.9.2016. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-09-18/exec-most-lyft-rides-will-be-in-autonomous-cars-in-5-years>

Kyriakidis, M., Happee, R., de Winter, J.C.F. Public opinion on automated driving: results of an international questionnaire among 5000 respondents. Transportation Research Part F. Vol 32, 2015. s. 127-140. Page, F.D. & Krayem, N.M. Are You Ready for Self-Driving Vehicles? Intellectual Property & Technology Law Journal. Yhdysvallat Vol 29, No. 4. 4/2017.

Lambert, Fred. BMW will launch the electric and autonomous iNext in 2021, new i8 in 2018 and not much in-between. Electrek. 12.5.2016. Saatavilla: <https://electrek.co/2016/05/12/bmw-electric-autonomous-inext-2021/>

Lange, Max. Kommentti: Teslalta röyhkeä peliliike – asiakkaat koekaniineina joukkoistamaan robottiautoilua. Tuulilasi. 20.10.2016. Saatavilla: <http://www.tuulilasi.fi/uutiset/kommentti-teslalta-royhkea-peliliike-asiakkaat-joukkoistamaan-robottiautoilua>

Lienert, P. & Sage, A. Ford plans self-driving car for ride share fleets in 2021. Reuters. 16.8.2016. Saatavilla: <http://www.reuters.com/article/us-ford-autonomous-idUSKCN10R1G1>

Liu, R., Fagnant, D. J., Zhang, W. Beyond Single Occupancy Vehicles: Automated Transit and Shared Mobility. Road Vehicle Automation 3 -julkaisu. Springer. 2016. s.249-258.

Lynch, Jim. Intel: \$7 trillion market in driverless passenger-economy by '50. The Detroit News. 1.6.2017. Saatavilla: <http://www.detroitnews.com/story/business/autos/mobility/2017/06/01/passenger-economy/102387844/>

Newcomer, Eric. Jaguar Invests in Lyft, Forming Self-Driving and Car Rental Pact. Bloomberg. 12.6.2017. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-12/jaguar-invests-in-lyft-forming-self-driving-and-car-rental-pact>

Ng, Andrew. When will self-driving cars be available to consumers. Quora. 29.1.2016. Saatavilla: https://www.quora.com/When-will-self-driving-cars-be-available-to-consumers?redirected_qid=6670450

Nissan Announces Unprecedented Autonomous Drive Benchmarks. NissanNews. 27.8.2013. Lehdistöiedoite. Saatavilla: <http://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/nissan-announces-unprecedented-autonomous-drive-benchmarks>

Ohnsman, Alan. Tesla Has Little To Show In California's Autonomous Car Data Tally. Forbes. 1.2.2017. Saatavilla: <https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2017/02/01/tesla-has-little-to-show-in-californias-tally-of-autonomous-car-test-data/#65a2bed56a48>

Robotit maalla, meressä ja ilmassa. Liikenteen älykkään automaation edistämissuunnitelma. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2015. Saatavilla: <https://www.lvm.fi/-/robotit-maalla-merella-ja-ilmassa-liikenteen-alykkaan-automaation-edistamissuunnitelma-859854>

Robottibussit liikenteeseen Hervannassa. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Julkaistu 26.10.2016. Saatavilla: <http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/uutiset-ja-tapahtumat/robottibussit-liikenteeseen-hervannassa-x171216c3>

Rogers, E. M. Diffusion of Innovations (3. painos). 1983. New York, Yhdysvallat. Free Ross, Philip E. CES 2017: Nvidia and Audi Say They'll Field a Level 4 Autonomous Car in Three Years. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 5.1.2017. Saatavilla: <http://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/nvidia-ceo-announces>

Schoettle, B. & Sivak, M. A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the U.S., the U.K., and Australia. The University of Michigan Transportation Research Institute. Yhdysvallat. 4/2014. Saatavilla: <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/108384/103024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sergey Brin on driverless car future. Driverless car market watch. 2.10.2012. Videoitu puhe. Saatavilla: <http://www.driverless-future.com/?p=323>

Shankleman, J. & Warren, H. This Is What the Demise of Oil Looks Like. Bloomberg. 31.5.2017. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-oil-projections/>

Shapiro, Danny. NVIDIA and Bosch Announce AI Self-Driving Car Computer. NVIDIA. Blogikirjoitus. 16.3.2017. Saatavilla: <https://blogs.nvidia.com/blog/2017/03/16/bosch/>

Shepardson, David. Union cheers as trucks kept out of U.S. self-driving legislation. Reuters. 28.7.2017. Saatavilla: <https://www.cnbc.com/2017/07/28/reuters-america-union-cheers-as-trucks-kept-out-of-u-s-self-driving-legislation.html>

Stumpf, Rob. Elon Musk Predicts Fully Driverless Cars Are Less Than Two Years Away. The Drive. 2.5.2017. Saatavilla: <http://www.thedrive.com/sheetmetal/9822/elon-musk-predicts-fully-driverless-cars-are-less-than-two-years-away>

Su, Jean Baptiste. CEO Tech Talk: Ford Expects Fully Autonomous Cars In 5 Years. Forbes. 5.2.2015. Saatavilla: <https://www.forbes.com/sites/jeanbaptiste/2015/02/05/exclusive-interview-ford-ceo-expects-fully-autonomous-cars-in-5-years/#1e5d0879a0c8>

Taylor, Michael. Self-Driving Mercedes-Benzes Will Prioritize Occupant Safety over Pedestrians. Car and Driver. 7.10.2016. Saatavilla: <http://blog.caranddriver.com/self-driving-mercedes-will-prioritize-occupant-safety-over-pedestrians/>

The long, winding road for driverless cars. The Economist. 25.5.2017. Saatavilla: <https://www.economist.com/news/science-and-technology/21722628-forget-hype-about-autonomous-vehicles-being-around-cornerreal-driverless-cars-will>

Torr, Feann. Volvo commits to fatality-free cars. Motoring. 5.10.2014. Saatavilla: <http://www.motoring.com.au/volvo-commits-to-fatality-free-cars-46544>

Torr, Feann. Next-gen Audi A8 drives better than you. Motoring. 22.10.2014. Saatavilla: <http://www.motoring.com.au/next-gen-audi-a8-drives-better-than-you-46963/>

Van den Berg, V.A.C., Verhoef, E.T. Autonomous cars and dynamic bottleneck congestion: The effects on capacity, value of time and preference heterogeneity. Transportation Research Part B. Volume 94, 2016, s.43-60.

Webb, A. & Welch, A. Apple Is Working With Hertz to Manage Its Self-Driving Car Fleet. Bloomberg. 26.6.2017. Saatavilla: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-26/apple-working-with-hertz-unit-to-manage-small-autonomous-fleet>

Williamson, R., Beasley, J. Automotive Technology and Manufacturing Readiness Levels. 1/2011. Saatavilla: <http://www.apcuk.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/Automotive-Technology-and-Manufacturing-Readiness-Levels.pdf>